



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Ir. Mulyadi, M.Sc.

SUMBERDAYA ALAM TROPIKA HUMID DI
KALIMANTAN TIMUR TERHADAP PEMBANGUNAN
NASIONAL

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Ir. Mulyadi, M.Sc.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan	3
C. Potensi Lahan untuk Pembangunan Pertanian.....	5
D. Tantangan dan Harapan	8
E. Kesimpulan	9
DAFTAR PUSTAKA.....	10
UCAPAN TERIMA KASIH	12
CURRICULUM VITAE.....	14



SINOPSIS

Sinopsis Pidato Pengukuhan Guru Besar ini menggambarkan Potensi Sumberdaya Lahan Kalimantan Timur yang memiliki Iklim, Tanah, Bentang Lahan (topografi) yang spesifik terhadap pembangunan nasional baik masa lalu, sekarang dan dimasa yang akan datang berupa minyak dan gas bumi, hutan produksi, batubara, serta harapan dimasa yang akan datang berupa bahan bakar minyak (BBM nabati) terbaru akan melalui hasil perkebunan kelapa sawit sehingga tercapai ketahanan energi.

Dampak dari perpindahan Ibu Kota Indonesia dari Jakarta (DKI) ke Penajam Paser Utara (IKN) mengakibatkan perubahan besar terhadap ekosistem akibat migrasi masyarakat sehingga menjadi tantangan masyarakat Kalimantan Timur untuk meningkatkan ketahanan pangan.

Keberhasilan budidaya pertanian dipengaruhi oleh iklim dan bahan induk tanah serta interaksinya, sehingga praktek budidaya pertanian di Kalimantan Timur juga tidak lepas pada kondisi tanah ekosistem tropika humid. Umumnya tanahnya bersifat masam akibat curah hujan sepanjang tahun dan suhu tinggi, berkembang dengan bahan induk batuan sekunder yang juga masam sehingga di masalalu budidaya pertanian menggunakan praktek ladang berpindah.

Seiring dengan bertambahnya waktu, praktek tersebut telah ditinggalkan dan diganti dengan perkebunan kelapa sawit karena sesuai dengan persyaratan tumbuhnya baik dari segi iklim yaitu hujan sepanjang tahun tanpa musim kemarau dengan suhu rata-rata diatas 22⁰ C dan tanah yang relative masam.

Budidaya tanaman padi juga harus digalakan akibat besarnya migrasi masyarakat yang berakibat permintaan pangan meningkat. Lahan-lahan potensial harus terus diuji coba untuk meningkatkan

produktivitas dan hal tersebut, khususnya ketahanan pangan akan berhasil apabila dalam pemanfaatan lahan lebih dulu diketahui karakteristik, potensi, kendala dan pengelolaan lahan dengan segala keterbatasannya dengan baik.

Dataran tinggi tunjung (Barong Tongkok) di Kabupaten Kutai Barat merupakan tanah vulkanik yang karakteristiknya hamper serupa dengan sawah-sawah di Pulau Jawa yang semakin berkurang akibat pembangunan sehingga dimasa mendatang sangat potensial untuk dikembangkan karena tekhnologinya sudah dikuasai dengan baik.



A. Pendahuluan

Iklim hutan hujan tropis (Tropika Humida) merupakan sumberdaya alam yang spesifik di permukaan bumi, terletak di sekitar garis khatulistiwa, berfungsi sebagai paru-paru dunia yang hanya ada di Indonesia (Kalimantan Timur, Kalimantan Barat, Sulawesi Tengah, Sumatra Barat/Riau) sebagian Halmahera dan Papua, benua Amerika (lembah Amazone hulu) dan sentral Afrika (cekungan Kongo). Perbedaan antara siang dan malam hari di relatif tetap yaitu masing-masing sekitar 12 jam, sementara daerah kutub yang siang harinya dapat mencapai 23,5 jam, malam harinya juga 23,5 jam tergantung musim, begitu pula di daerah subtropis yang siang dan malam harinya mencapai 18 jam tergantung musim. Tipikal iklim tropika humida adalah hujan sepanjang tahun, tanpa musim kemarau dengan suhu rata-rata $> 22^{\circ}\text{C}$.

B. Sumberdaya Alam Tropika Humida terhadap Pembangunan Nasional

Pada momentum yang sangat berharga ini Izinkan saya mengingat kembali di masa-masa lalu, saat di Era Kolonial hingga pra-pasca kemerdekaan, Kalimantan Timur terkenal dengan penghasil minyak bumi dengan sentral produksi di sekitar kota Balikpapan, Sanga-sanga dan Tarakan, di Era 1970-2000 an kita memiliki hutan produksi yang melimpah sehingga terkenal dengan istilah banjir kap, di era sekarang kita juga masih dikenal sebagai penghasil emas hitam (batubra) dan CPO. Hasil sumberdaya alam tersebut merupakan sumbangan yang sangat besar terhadap devisa negara untuk Pembangunan Nasional. Produk-produk sumberdaya alam tersebut adalah anugerah Allah S.W.T. untuk kesejahteraan masyarakat Kalimantan Timur seperti pergerakan-

pergerakan bumi (proses geologi) baik berupa patahan maupun lipatan (faults and fold) jutaan tahun yang lalu terhadap flora dan fauna yang hidup di atasnya sehingga menghasilkan minyak bumi dan batubara. Kita pahami bersama bahwa sumberdaya bahan bakar fosil tidak akan dapat diperbarui sehingga jika terus di eksplotasi pasti akan habis yang berakibat terhadap pertumbuhan ekonomi masyarakat Kalimantan Timur.

Alhamdulillah rasa pesimis tersebut dapat terobati dengan ditemukannya teknologi bahan bakar minyak (BBM) terbaru yang berasal dari Crude Palm Oil (B30-B50). Tanaman ini dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik pada tanah tropika humida karena memiliki sumberdaya iklim (curah Hujan dan suhu) yang relative tetap. Tanah-tanah yang terbentuk dengan kondisi iklim di atas umumnya dikenal sebagai tanah ferralitik dan bersolum tebal yang sangat baik untuk perkebunan kelapa sawit.

Rasa optimis tersebut semakin bertambah dan berlipat ganda setelah adanya Keputusan Pemerintah tentang perpindahan Ibu Kota dari Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta ke Ibu Kota Negara (IKN) di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur (meskipun pro-kontra) yang pasti berakibat perubahan besar terhadap Anggaran Belanja Negara (DKI rata-rata pertahunnya lebih 79,5 triliun rupiah/2023, sementara Kalimantan Timur hanya mendapat sekitar 21,64 triliun rupiah/2023). Di tahun 2024 akibat pembangunan IKN APBN kita meningkat dan harapannya terus meningkat ditahun-tahun mendatang yang mengakibatkan peredaran uang di masyarakat sangat tinggi. Selain itu perpindahan/migrasi masyarakat dari Pulau Jawa dan pulau lainnya ke Kalimantan Timur menjadi harapan/tantangan tersendiri bagi masyarakat Kaltim terhadap ketersediaan ruang dan pangan serta prasarana pendukungnya, selain tentunya pergeseran kebijakan anggaran Negara/politik sehingga masyarakat Kalimantan

Timur mendapat kesempatan yang seluas-luasnya terhadap perubahan tersebut.

C. Potensi Lahan untuk Pembangunan Pertanian

Ibu Kota Negara menjadi magnet yang luar biasa terhadap peningkatan populasi penduduk akibat migrasi masyarakat yang ingin mendapat bagian dari proses belanja negara, khususnya pembangunan sarana dan prasarana baik fisik maupun pembangunan masyarakat. Dampak dari peningkatan penduduk tersebut mengakibatkan permintaan terhadap ketersediaan pangan juga meningkat sehingga dirasa perlu untuk terus mengupayakan peningkatan ketahanan pangan dengan mengoptimalkan potensi.

Kalimantan Timur memiliki lahan potensial sekitar 2.468.324 ha untuk budidaya pertanian terbagi menjadi 1.846.328 ha lahan berupa ladang/tegalan/upland dan 622.000 ha lahan sawah (lowland). Kutai Barat menyumbang sekitar 27 persen atau equivalent 4.867,22 tons padi dengan luas lahan 1121 ha (Lusai, 2017).

Yapan FX, (2022), menyatakan bahwa sektor pertanian di Kutai Barat penyumbang kedua produk domestik bruto di Kaltim yang mengakibatkan pertumbuhan ekonomi Kutai Barat meningkat sekitar 12,27%. Sejak tahun 2020 areal produksi padi cenderung menurun baik lahan upland maupun lowland yaitu dari 4550,6 ha berkurang menjadi 4345,1 ha dan terus cenderung menurun di tahun 2021 hingga 2022 dari 4345,1 ha menjadi 2416,7 ha. Berkurangnya lahan pertanian ini juga menyebabkan berkurangnya produksi padi dari 12.515,9 ton di tahun 2020 menjadi 6496,1 ton di tahun 2023.

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), di Indonesia produksi beras cenderung menurun dalam satu dekade terakhir, yakni sekitar 69,05 juta ton

gabah kering giling pada tahun 2012, meningkat menjadi sekitar 73 juta ton (2013), 72 juta ton (2014), cenderung meningkat lagi menjadi 76 juta ton (2015), 79 juta ton (2016) dan turun drastis pada tahun-tahun berikutnya menjadi hanya sekitar 5,5 juta ton pada tahun 2022 (Cindy Mutia Annur, 2022).

Adi Ahdiat, 2024 menyatakan bahwa menurut data pangan nasional, kebutuhan beras untuk konsumsi rumah tangga terus meningkat. Pada tahun 2019, kebutuhan masih sekitar 21 juta ton, kemudian volumenya terus meningkat hingga mencapai 22,64 juta ton pada tahun 2023. Agar Indonesia dapat mengatasi krisis beras yang sangat serius tersebut, pemerintah telah mengambil langkah dengan melakukan impor (Ahmad Dahlan, 2024).

India merupakan negara pengekspor beras terbesar di dunia namun sejak Juli 2023 telah menghentikan ekspor berasnya sehingga menyebabkan harga beras dunia naik dan kebijakan ini telah menciptakan kesenjangan sekitar 9,5 juta metrik ton atau 10,4 juta ton beras yang dibutuhkan oleh masyarakat di seluruh dunia (VOA, 2023).

Zulkifli Hasan (2023) selaku Menteri Perdagangan menanggapi kebijakan India yang menghentikan ekspor beras mulai Juli 2023, menurutnya hal ini menjadi alarm bagi Indonesia untuk segera mewujudkan swasembada pangan sehingga Indonesia tidak perlu terus bergantung pada impor.

Eko Hendri dkk. (2023) menyatakan bahwa alih fungsi lahan produktif di Pulau Jawa menjadi salah satu penyebab menurunnya produksi padi dalam negeri. Hasil evaluasi Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Jawa Timur menyebutkan alih fungsi lahan di Provinsi Jawa Timur mencapai 1.100 ha per tahun, Kementerian Pertanian menyatakan bahwa alih fungsi lahan pertanian di Jawa timur menjadi ancaman serius bagi upaya peningkatan produksi padi di Indonesia. Pemerintah perlu mengupayakan

peningkatan kesejahteraan petani agar lahan tidak berubah fungsi sehingga lahan tetap dapat menghasilkan padi secara berkelanjutan (Agustina Purwanti dan Budiawan Sidik A, 2023).

Tanah-tanah yang terbentuk di Kabupaten Kutai Barat khususnya dataran tinggi Tunjung berasal dari pelapukan bahan Induk Gunung Api Tua, namun tanah tersebut mengalami perkembangan lebih lanjut akibat adanya faktor pembentuk tanah seperti iklim, topografi, makhluk hidup, bahan induk dan yang paling berperan dalam pembentukan tanah di Barongtongkok adalah waktu (Mulyadi, 2022).

Menurut atlas Kalimantan Timur, Indonesia karya Frithjof Vos, geologi daerah ini didominasi oleh Batuan Vulkanik Neogen, termasuk dalam wilayah fisiografi Daerah Vulkanik Kutai Barat, dan daerah ini terbagi dalam tiga satuan geomorfologi utama yaitu : daerah ladang lava, perisai vulkanik dan Gunung Api Punah. Ketinggian ladang lava berkisar antara 80 sampai 230 m dpl, perisai vulkanik berkisar antara 180 sampai 350 m dpl dan gunung api punah berkisar antara 320 sampai 550 m dpl (Tanaka, N. 1994).

Dataran Tinggi Tunjung ini merupakan lahan yang sangat potensial untuk pengembangan tanaman padi, baik padi sawah tadah hujan maupun padi ladang karena budaya masyarakat Kutai Barat terbiasa bercocok tanam padi, serta tanahnya juga berkembang dari bahan induk vulkanis/batuan vulkanik, seperti halnya tanah-tanah Pulau Jawa.

Keberadaan tanah vulkanik di dataran tinggi tunjung di isyaratkan oleh cerita rakyat bahwa danau Aco yang berada di dataran tinggi Tunjung terbentuk usai sebuah bencana alam besar akibat tidak mematuhi tradisi nenek moyang. Dahulunya terdapat kampung dengan Lamin sebagai rumah mereka. Di dalam lamin tinggal seorang wanita bernama Oso atau biasa dipanggil Aco yang senang menari. Saat pulang dari hutan Aco menemukan sebuah lutung

dan dibawa pulang. Karena kesal dengan suami, Aco ikut warga untuk menghibur diri dengan menari belian dan Aco menggunakan ekor lutung untuk memukul alat musik yang dilarang dalam ritual belian. Tak lama datang angin ribut beserta hujan badai yang amat besar menimpa kampung tersebut, tak pelak meneggelamkan Aco beserta isi kampung (Republik, 2016). Cerita ini hampir serupa dengan danau Toba yang juga akibat bencana alam berupa letusan Gunung Toba yang meninggalkan kaldera sehingga terbentuknya danau toba, yang juga memiliki cerita rakyat tentang kejadian danau tersebut.

Selain tanah vulkanik di dataran tinggi Tunjung, Barong Tongkok yang potensial untuk budidaya tanaman pangan/padi, Kaltim juga memiliki tanah Mollisol di Pasir Tanah Grogot yang berkembang dari batuan magmatik juga sangat potensial untuk pengembangan tanaman pangan. Curah hujan yang tinggi di Kaltim juga mengakibatkan terbentuknya sungai yang mengarah ke dataran lebih rendah dan membentuk danau. Disepanjang aliran sungai Ecosystems meander), khususnya di rawa belakang (backsawmp) terbentuk jutaan hektar rawa-rawa yang juga potensial untuk pengembangan budidaya padi sawah.

Berdasarkan karakteristik iklim Kaltim seperti curah hujan, suhu, kelembaban relatif dan rata-rata jam sinar matahari tahunan (n/N) selama siklus tumbuh memiliki nilai sedang (43,23) dengan Peringkat iklim = $16,67 + 0,9 (43,23) = 65$ yang cukup sesuai untuk budidaya tanaman padi.

D. Tantangan dan Harapan

Demikian tadi uraian saya tentang peranan sumberdaya alam Tropika Humid di Kaltim terhadap Pembangunan Nasional. Harapannya akan menjadi tantangan bagi para ilmuwan, peneliti dan juga praktisi pertanian untuk dapat memanfaatkan

momen perpindahan Ibu Kota Negara untuk ketahanan pangan dapat terealisasi dan dipenuhi daerah-daerah disekitar IKN, apalagi pemerintahan sekarang sedang berupaya untuk mewujudkan swasembada pangan.

Lembaga Negara seperti Tentara Nasional Indonesia sedang merekrut/mendidik perwira-perwira muda lulusan Fakultas Pertanian diseluruh Indonesia melalui Sekolah Perwira Wajib Militer (Sepawamil) yang nantinya berperan mendampingi petani di lapangan sehingga diharapkan menjadi ujung tombak ketahanan pangan seperti apa yang pernah dan sedang dilakukan oleh beberapa negara Asia lainnya, sehingga harapannya kita dapat mencapai swasembada pangan dan bahkan menjadi pengeksport pangan seperti negara tetangga kita Vietnam yang mengalami pertumbuhan ekonomi tertinggi setelah mencapai swasembada pangan.

E. Kesimpulan

Dari uraian tersebut diatas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Sejarah menunjukkan bahwa sumberdaya alam Kalimantan Timur yang memiliki iklim tropika humida menjadi penyumbang deviasa negara dari tambang minyak, gas alam, logging, coal mining dan perkebunan kelapa sawit.
2. Sumberdaya alam yang belum tersentuh seperti ekosistem meander (Rawa belakang dan pasang surut) potensial untuk pengembangan budidaya tanaman pangan, dimana iklim cukup mendukung untuk pertumbuhan dan produksi tanaman padi.
3. IKN menjadi magnet pertumbuhan ekonomi akibat besarnya Anggaran Belanja Negara yang digelontorkan pemerintah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Ahdiat. 2024.** Kebutuhan Beras Nasional Naik Pada 2023, Rekor Tertinggi Baru. Databoks.katadata.co.id
- Agustina Purwanti dan Budiawan Sidik A. 2023.** Alih Fungsi Lahan Mengancam Produksi Padi Nasional. <https://www.kompas.id>
- Ahmad Dahlan, 2024.** Indonesia Menghadapi Darurat Beras: Tantangan dan Upaya Mengatasinya. <https://news.ahmaddahlan.ac.id>.
- Boul, Sw., F.D. Hole and R.J. McCracken. 2011.** Soil Genesis and Classification. The Iowa State University Pres, Ames.
- Cindy Mutia Annur. 2022.** Produksi Padi Cendrung Menurun Dalam 10 Tahun Terakhir. Databoks. Katadata.co.id/publish/2023.
- Eko Hendri, Saiful dan Edi Susilo. 2023.** Lahan Produktif Jatim Berpotensi Makin Menyusut, Per Tahun 1000 hektar Beralih Fungsi. <https://jawapos.com>.
- Gairola. A, Kumar. U, Kumar. S, Patil. A, and Sing. S. 2024.** Upland Rice: A water Efficien Rice Production System in India. Doi: 10.54083/BioResToday/6.1.2024/46-5.
- Gusira. G, Sudarto and A.N. Putra. 2021.** Pengaruh Lama Penyinaran Matahari Terhadap Potensi Produksi Padi Berdasarkan Analisa Spasial di Kabupaten Malang. <https://jtsl.ub.ac.id>.
- Kartasapoetra, A.G.** Klimatologi, Pengaruh Iklim Terhadap Tanah dan Tanaman. Bumi Aksara. Jakarta.
- Lusai. 2017.** Analisis Pendapatan Usahatani Padi Sawah (*Oryza sativa*. L.) di Desa Penyinggahan Ilir Kecamatan Penyinggahan, Kabuapten Kutai Barat. Agb.faperta.unmul.ac.id.

- Mulyadi. 2022.** Regional Pedologi. Karakteristik, Potensi, Kendala dan Pengelolaan Untuk Pembangunan Pertanian di Kalimantan Timur. The Publish.
- Sys, C and E. Van Ranst and J. Debaveye. 1991.** Land Evaluation part 1 and II. International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientist. State University of Ghent, Belgium.
- Roseno Aji Nugroho. 2023.** Heboh India larang ekspor Beras, Gula, begini efeknya ke RI. <https://www.cnbcindonesia.com>.
- Shamsuddin, J., and Fauziah, C.I. 2010.** Weathered Tropical Soils: The Ultisols and Oxisols. Universiti Putra Malaysia Press, Serdang, Malaysia.
- Sys, C and E. Van Ranst, J. Debaveye. and F. Beernaert. 1993.** Land Evaluation part III. International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientist. State University of Ghent, Belgium
- USDA. 2014.** Keys to Soil Taxonomy. Twelve edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department Agriculture.
- VOA Indonesia. 2023. Larangan Ekspor beras oleh India berdampak luas. www.voaindonesia.com.
- Yapan, FX. 2022.** Tahun 2022, Pertumbuhan Ekonomi Kubar capai 4,70 persen. Badan Pusat Statistik Kutai Barat 2022. Harianjournal.com
- Zulkifli Hasan. 2023. Zulhas soal India setop ekspor beras: Kita harus swasembada pangan. <https://www.kemendag.go.id>.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hadirin yang terhormat,

Saya menyadari bahwa pencapaian jabatan Guru Besar hingga sampai pada upacara pengukuhan hari ini tidak lepas dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, perkenankanlah saya untuk mengungkapkan terima kasih yang setulus-tulusnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia dan Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk memangku jabatan sebagai Guru Besar dalam bidang ilmu Tanah Tropika Humid.
2. Rektor dan Ketua Senat beserta seluruh anggota senat Universitas Mulawarman.
3. Dekan beserta wakil Dekan yang banyak membantu dan memberi kesempatan agar lebih berupaya untuk pencapaian Guru Besar di Fakultas Pertanian Unmul.
4. Ketua/Sekretaris senat Fakultas Pertanian yang telah menyusun peta jabatan dan menyetujui promosi jabatan ke Guru Besar.
5. Ketua Jurusan Agroteknologi Pertanian beserta staff yang banyak membantu untuk melengkapi persyaratan administrasi agar persyaratan usulan dapat terpenuhi.
6. Segenap civitas akademika pada konsentrasi Ilmu Tanah, Program studi Agroteknologi.

Terakhir tapi tidak kalah penting kepada Istri yang tercinta (H. Nelly Kusmiani), Anak, menantu dan cucu-cucu yang tersayang yang selalu setia mendampingi dan member semangat agar terus berjuang untuk mencapai Guru Besar meskipun telah berada diujung karier, dan Alhamdulillah berkat doa

semua dan anugerah Allah SWT. Pencapaian Guru Besar tersebut dapat terealisasi.



CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Dr. Ir. Mulyadi, M.Sc.
NIP : 19590914 198503 1 003
NIDN : 0001104580
Tempat, Tanggal
Lahir : Samarinda, 14 September 1959
Agama : Islam
Email : mulyadi_srm@yahoo.com
No HP : 08125526994
Fakultas : Pertanian
Pangkat, Gol. : Pembina Utama Muda, IV-C
Jabfung, TMT : 01-09-2024
TMT Golongan : 01-01-2001
ID SINTA : 6817027
ID SCOPUS : 57679838800

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman (1975-1984)
2. Magister (S2) State Univ. Of Ghent (1987-1989)
3. Doktor (S3) Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman (2008-2015)

RIWAYAT PENELITIAN

1. Pengaruh Pemupukan Rock Fosfat dan Pengapuran terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kacang Hijau (Mund Bean) pada Tanah Alluvial di L2 Teluk Dalam.
2. Classification Of Soils from East-Kalimantan Selected for the Transmigration Area Development Project, According to the USDA (1975 and 1987) and the FAO Classification Systems (1974).
3. Pengaruh Ketebalan Tanah Permukaan (Top Soiling) dan Kesuburan Tanah terhadap

- Pertumbuhan Tanaman Revegetasi di Areal Lahan Tambang Batubara di Kalimantan Timur.
4. Potensi lahan untuk pengembangan budidaya tanaman padi sawah dan padi gogo di Kecamatan Muara Bengkal, Kutai Timur.
 5. The growth of *Paraserianthes falcataria* at three different plant ages and soil thickness classes on reclamation sites of post-coal mining areas in East Kalimantan, Indonesia.
 6. Morphological characteristics of top soiling in the reclamation areas of post-coal mining at Kutai Kartanegara and Kutai Timur Regencies.
 7. Tanah Berkembang dari Batuan Lumpur dan Pasir untuk Pelapisan Timbunan Bekas Tambang Batubara di Teluk Dalam, Kalimantan Timur.
 8. Potensi Lahan untuk Pengembangan Budidaya Tanaman Padi sawah dan Padi Gogo di Kecamatan Muara Bengkal Kutai Timur.
 9. Peningkatan Efisiensi Pemupukan Fosfor Pada Ultisol dengan Menggunakan Abu Terbang Batubara.
 10. Kajian penilaian kesuburan tanah tegakan dipterocarpaceae dan non dipterocarpaceae di Wanariset Samboja, Kalimantan Timur.

RIWAYAT PROSIDING

1. Land Capability of Labanan Soil to Rainfed, Perenials and Forest Plantations.
2. Suitability of Rubber Plantation on Old Volcanic Parrent Material at Barong Tongkok, East Kalimantan.
3. Semi-Quantitave Evaluation of Soil Fertility of Upland and Lowland Rice Areas by Using Multivariatie Analysis.
4. International Confrence on Tropical Agrifood, Feed and Fuel

RIWAYAT BUKU

1. Identifikasi Reklamasi Lahan Revegetasi dan Evaluasi
2. Pembangunan Pertanian dan Peternakan Berkelanjutan
3. Unmul Hebat Kaltim Berdaulat, IKN Kuat
4. Pedologi Regional Karakteristik, Potensi, Kendala dan Pengelolaan untuk Pembangunan Pertanian di Kalimantan Timur
5. Pertanian dan Masa Depan

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. Permentasi Bahan Organik pada Tahun 2021
2. Anggota Tim Bimas Kaltim tahun 2000-2002
3. Abdimas Sosialisasi Hasil Penelitian dan Penyuluhan Tentang Pertanian Berkelanjutan Berbasis Bahan Organik pada Tahun 2021
4. Metode tinggi potong batang padi guna meninggalkan banyak sisa bahan organik pada lahan sawah pasang surut pada Tahun 2023
5. Tim Pengabdian Masyarakat Pengembangan Tanaman Hortikultura Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman dengan PLN-PLTGU Tanjung Batu pada Tahun 2024
6. Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Bahan Pembuatan Pupuk Organik Desa Kartabuana Tenggarong Seberang Kutai Kartanegara pada Tahun 2024
7. Optimalisasi Pemanfaatan Lahan Pekarangan untuk Peningkatan Pendapatan Rumah Tangga pada tahun 2023

RIWAYAT JABATAN

1. Staff Pegawai Faperta Universitas Mulawarman (1985 – sekarang)
2. Ketua Jurusan (1995 – 1997)
3. Wakil Dekan I (1997 – 2001)
4. Anggota Senat Faperta Unmul 1997- 2001
5. Anggota Senat Universitas Mulawarman 1999- 2003

RIWAYAT ORGANISASI

1. Anggota Persatuan Insinyur Indonesia 1985- sekarang.
2. Anggota HITI 1989-sekarang





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Rudi Kartika, M.Si.

POTENSI TUMBUHAN BAWANG HUTAN
(*Scorodocarpus borneensis* Becc) SEBAGAI BAHAN
BAKU OBAT

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Rudi Kartika, M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan	2
B. Bawang Hutan, <i>Scorodocarpus borneensis</i> Becc	5
C. Kandungan Kimia Aktif Biologis Tumbuhan Bawang Hutan.....	7
D. Aktivitas Biologis Penghambatan Sel Kanker....	9
E. Mekanisme Pembentukan Kanker	11
F. Peran Antioksidan Dalam Memutus Reaksi Berantai Radikal Bebas.....	14
G. Obat Antikanker	15
H. Hasil Penelitian Yang Telah Dilakukan Terhadap Bawang Hutan (<i>Scrodocarpus borneensis</i> Becc.)	18
I. Skema Penelitian	24
J. Penutup	25
DAFTAR PUSTAKA.....	27
UCAPAN TERIMA KASIH	32
CURRICULUM VITAE.....	34

SINOPSIS

Bawang Hutan (*Scorodocarpus Boonensis* Becc). merupakan tanaman khas Kalimantan Timur, oleh masyarakat lokal digunakan sebagai bumbu masak pengganti bawang putih. Sifat fisis seperti aromanya memang mirip bawang putih. Peneliti mulai tertarik dan mencari informasi melalui internet dan perpustakaan, ternyata informasi yang didapat sangat minim sehingga muncul ketertarikan peneliti. Tanaman ini pada tahun 1997 dilakukan penelitian sebagai obat anti bakteri untuk Tesis di IPB Prodi Bioteknologi. Lalu muncul keinginan kembali untuk meneliti sebagai obat anti kanker 2010 untuk disertasi di jurusan Kimia FMIPA USU di sini. Peneliti menemukan senyawa baru serta menghasilkan 2 paper pada jurnal yang bereputasi. Sehingga peneliti ingin membawa ini sebagai riset yang unggulan dalam mencapai Guru Besar sekaligus mempopulerkan tanaman lokal khas Kalimantan Timur.

A. Pendahuluan

Masyarakat Indonesia telah mengenal dan menggunakan tanaman berkhasiat obat sebagai salah satu upaya penyembuhan berbagai penyakit, jauh sebelum pelayanan kesehatan formal yang menggunakan obat modern dikenal secara luas. Pengetahuan tentang tanaman obat yang merupakan warisan budaya bangsa bisa dijadikan modal dasar untuk terus mengembangkan potensi tumbuhan yang begitu kaya di bumi Indonesia untuk dimanfaatkan sebagai tanaman yang berkhasiat obat. Pengembangan pengetahuan akan tanaman berkhasiat obat di samping memaksimalkan potensi sumber daya alam Indonesia yang kaya dengan floranya, juga dapat meminimalkan efek samping yang banyak ditimbulkan dari pemakaian obat modern.

Pada tanaman ada dua metabolisme yaitu metabolisme primer dan sekunder. Proses metabolisme primer menghasilkan senyawa yang digunakan dalam proses biosintesis sehari-hari, yaitu karbohidrat, protein, lemak dan asam nukleat. Sebaliknya proses metabolisme sekunder menghasilkan senyawa dengan aktivitas biologis tertentu seperti alkaloid, terpenoid, flavonoid, tannin dan steroid. Kadangkala senyawa yang dikandung oleh satu tanaman dari genus tertentu bersifat spesifik. Misalnya tanaman dari genus papaver, *Papaver somniferum* dan *Papaver septigerum* yang menghasilkan morfin dan berkhasiat menenangkan.

Senyawa hasil metabolisme sekunder lazim dikenal sebagai metabolit sekunder yang diproduksi sebagai benteng pertahanan tumbuhan dari pengaruh buruk lingkungan atau serangan hama penyakit. Metabolit sekunder tidak memiliki fungsi khusus dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Senyawa tersebut lebih dibutuhkan untuk eksistensi kelangsungan hidup tanaman itu di alam.

Fungsi pertama metabolit sekunder adalah melindungi tanaman dari serangan mikroba, contohnya tanaman akan membentuk fitoaleksin, senyawa khusus yang disintesis di sekitar sel yang terinfeksi. Kedua, mempertahankan diri dari gangguan predator. Ketiga, untuk melawan gangguan herbivora yaitu dengan membentuk senyawa toksik yang menyebabkannya menjadi beracun. Keempat, perlindungan terhadap lingkungan, misalnya antosianin diproduksi untuk melindungi tanaman dari terpaan sinar UV. Kelima, memenangkan persaingan dengan cara menghasilkan senyawa yang bersifat alelopati, beracun terhadap tanaman lain di sekitarnya. Keenam, sebagai agen atraktan, menarik kehadiran serangga dan herbivora lain untuk membantu penyebaran biji. Senyawanya berupa pigmen yang membuat organ reproduksi berwarna cerah. Di dalam satu tanaman, tidak mungkin hanya mengandung satu macam metabolit sekunder, hal ini yang menyebabkan mengapa tanaman tertentu dapat memiliki beberapa macam khasiat atau efek terapi yang berbeda-beda sesuai dengan metabolit sekunder yang terkandung di dalamnya (Hanani E, 2010).

Tumbuhan seperti benalu (*Macrosolen cochinchinesis*), buah makasar (*Bruea javanica* (L.) Merr.), dan tapak dara (*Catharanthus roseus*) mengandung senyawa metabolit sekunder jenis alkaloid yang memiliki potensi sebagai antikanker. Senyawa alkaloid yang berpotensi sebagai anti kanker pada tumbuhan benalu yaitu β -amyrin, yang berfungsi menghambat S180 dan sel kanker JTC-26. Sedangkan pada buah makasar, alkaloid yang berpotensi sebagai antikanker yaitu jenis brucamarine dan yatamine, (*Brucea javanica*) dimana alkaloid jenis ini dapat mengobati kanker saluran pencernaan, kanker payudara, dan kanker leher rahim. Sementara pada tumbuhan tapak dara (*Catharanthus roseus*) mengandung 70 jenis alkaloid, dimana ada beberapa jenis yang berpotensi sebagai antikanker yaitu

vinblastine dan vincristine yang dapat digunakan untuk mengobati leukimia limfositik akut (LLA), leukimia monositik akut (LMA), kanker kelenjar getah bening, dan sebagainya (Fowler, 1983). Sedangkan menurut Montgomery (1993) menyatakan bahwa metotraksat juga salah satu turunan alkaloid yang dapat berfungsi sebagai antikanker, tetapi menurut beliau penggunaan obat antikanker sebaiknya dikombinasi dengan antikanker lain yang sistem kerja antikankernya berbeda-beda. Beberapa jenis obat alternatif untuk antikanker yang sudah diperdagangkan secara komersil di negara Eropa salah satunya adalah ekstrak benalu dengan merk dagang antara lain Iscador, Eurixor, dan Isorel. Ekstrak benalu ini merupakan parasit pada tumbuhan apel, oak, dan pinus, dimana komposisi kimia dari produk komersial ekstrak benalu tergantung pada jenis tumbuhan inang (National Cancer Institute, 2001).

Salah satu tanaman khas Indonesia yang berkhasiat sebagai obat adalah tumbuhan bawang hutan (*Scorodocarpus borneensis* Becc) yang banyak tumbuh di hutan tropis seperti Sumatera dan Kalimantan. Bagian dari tumbuhan ini banyak dimanfaatkan secara tradisional sebagai bumbu masak karena bau dan fungsinya mirip dengan bawang putih (*Allium sativa* L). Selain itu, bawang hutan sering pula digunakan sebagai obat tradisional. Menurut Kubota, et.al (1994), buah bawang hutan dapat dimanfaatkan sebagai antibakteri maupun antifungi karena adanya kandungan senyawa flavonoid, saponin, steroid, dan senyawa metiltiometil. Selain dari buah, kulit batang dari tumbuhan bawang hutan juga mengandung senyawa yang dapat berfungsi sebagai antibakteri (Kartika, 1999). Sementara pada bagian lain dari tumbuhan bawang hutan adalah daun yang juga banyak dimanfaatkan sebagai obat untuk penyakit diare. Abe dan Yamauchi (1993) melaporkan bahwa dalam daun bawang hutan terkandung beberapa senyawa seperti metiltiometil dan flavonoid.

Hasil beberapa penelitian pada tumbuhan bawang hutan memberikan informasi awal untuk dilakukannya penelitian lanjutan dalam rangka mengisolasi senyawa metabolit sekunder pada fraksi aktif buah tumbuhan bawang yang diduga berpotensi sebagai antikanker.

Isolasi komponen aktif antikanker dilakukan dengan cara mengekstrak bagian buah tumbuhan bawang hutan. Hasil isolasi selanjutnya diuji secara fitokimia serta dilanjutkan dengan uji aktivitas menggunakan metode brine shrimp lethality test, uji antioksidan serta uji terhadap lini sel kanker L1210. Isolat komponen yang mempunyai daya aktivitas selanjutnya ditentukan struktur kimianya berdasarkan data spektra spektroskopi (UV, IR, NMR 1D, NMR 2 D), dan LC-MS.

B. Bawang Hutan, *Scorodocarpus borneensis* Becc

Tumbuhan bawang hutan (*Scorodocarpus borneensis* Becc) termasuk tumbuhan Olacaceae, tumbuhan ini mempunyai nama lokal antara lain :

Sumatera : Bawang, Kulim, Rengom.

Kalimantan : Ansam, Bawang, Bawang hutan, Cepeluk, Jauhi, Kudur, Marsindu, Madudu, Sedau, Selaru, Seluru, Teradu, Sindu dan Kayu bawang.

Sistematika tumbuhan kayu bawang menurut Abe dan Yamauchi (1993) adalah:

Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Bangsa	: Santalales
Famili	: Olacaceae
Marga	: <i>Scorodocarpus</i>
Jenis	: <i>Scorodocarpus borneensis</i> Becc

Pohon ini merupakan tumbuhan yang sangat tinggi (36 m), seperti pada Gambar 1. Banyak tumbuh di Sumatera dan hutan primer Kalimantan pada ketinggian 300 m di atas permukaan laut, terutama pada tanah kering, tidak tumbuh di rawa-rawa, tidak membentuk hutan murni, di hutan rimba tumbuh secara berkelompok dan hanya di tempat-tempat tertentu tumbuh secara umum (Heyne, 1987).

Kulit batangnya berwarna abu-abu coklat atau merah coklat, beralur dangkal, dan banyak mengelupas. Kulit hidupnya berwarna merah atau coklat. Tumbuhan ini berdaun tunggal, licin berwarna agak hijau muda, seperti yang tercantum pada Gambar 2.2, dan memiliki ukuran panjang 2,5 – 17,5 cm dan lebar 6,25 – 8,75 cm.



Gambar 1 Tumbuhan bawang hutan (*Scorodocarpus borneensis* Becc)



Gambar 2 Buah dari tumbuhan bawang hutan

C. Kandungan Kimia Aktif Biologis Tumbuhan Bawang Hutan

Tumbuhan bawang hutan mengandung senyawa polisulfida yang mirip dengan jalur pembentukan senyawa polisulfida pada spesies *Allium* lainnya sehingga mempunyai aktivitas sebagai anti mikroba, yaitu 2,4,5,7-tetrathiaoctane-4,4-dioksida dan 5-thioxo-2,4,6trithiaheptane-2,2-dioksida. Tumbuhan ini juga diduga (?) memiliki senyawa O-etil S-metiltiometil tiosulfit ($\text{CH}_3\text{SCH}_2\text{SS}(\text{O})\text{OCH}_2\text{CH}_3$) (3). Ekstrak kasar kulit batang bawang hutan mengandung sesquiterpen saponin, steroid, flavonoid, dan senyawa metiltiometil yang menyebabkan bau seperti bawang putih dan mempunyai aktivitas antimikroba (Kubota 1999; Lim 1998).

Kartika (1999) berhasil mengisolasi senyawa antibakteri pada tumbuhan bawang hutan (*Scorodocarpus borneensis* Becc) dengan fraksi etanol mengandung karbohidrat, saponin, steroid, flavonoid dan senyawa bioaktif yang mengandung sulfur. Fraksi etanol, fraksi air dan senyawa murni memiliki aktivitas antibakteri terhadap *S.aureus*, *B. subtilis* dan *Salmonella* sp. Fraksi air mempunyai daya hambat

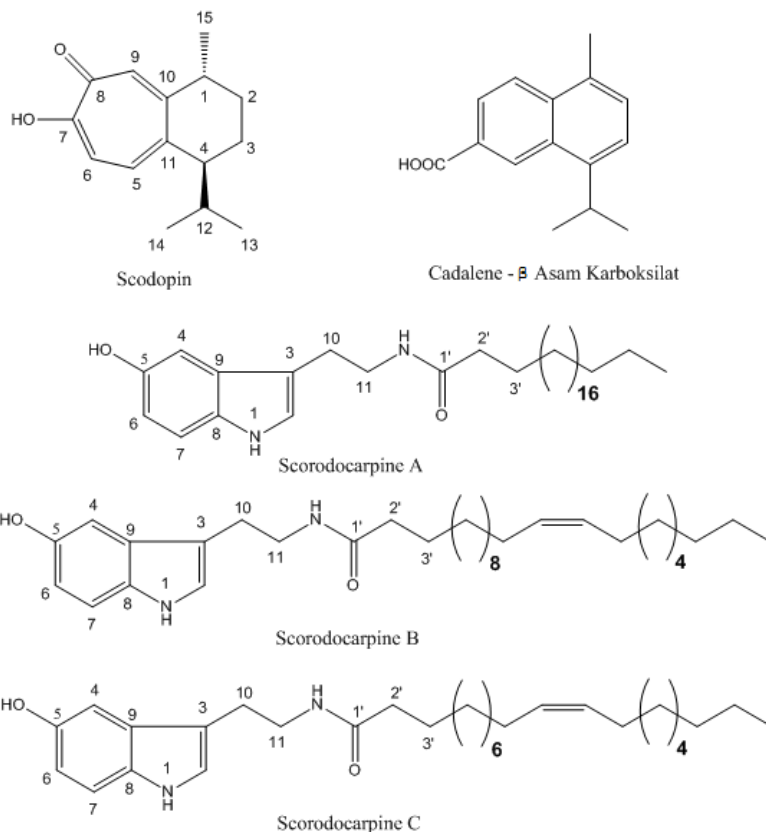
minimum antara 50 ppm – 100 ppm dan daya hambat minimumnya antara 100 ppm – 200 ppm.

Tumbuhan bawang hutan sering digunakan sebagai bumbu masak oleh penduduk lokal Kalimantan. Bau dan kegunaan dari kayu bawang hutan ini sangat mirip dengan bawang merah, sehingga dapat diperkirakan bahwa bawang hutan memiliki aktivitas fisiologis yang sama dengan bawang. Aktivitas antimikroba dari ketiga senyawa yang terkandung di dalam tumbuhan bawang hutan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Aktivitas antimikroba dari senyawa yang terdapat dalam tumbuhan bawang hutan (Lim, et al, 1998)

Mikroorganisme	Konsentrasi Hambat Minimum (MIC, µg/mL)			
	1	2	3	Kontrol*
Bakteri				
<i>Staphylococcus aureus</i> FDA 209P	> 100	> 100	> 100	6.25
<i>Micrococcus luteus</i> PCI 1002	> 100	> 100	> 100	1.56
<i>Bacillus substilis</i> PCI 219	50	50	> 100	0.39
<i>Microbacterium smegmatis</i> ATCC 607	> 100	50	> 100	0.39
<i>Escherichia coli</i> NIHJ	50	50	> 100	6.25
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> IFO 3080	50	> 100	> 100	> 100
Fungi				
<i>Candida albicans</i> KF 1	50	50	> 100	1.56
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ATCC 9763	50	50	> 100	1.56
<i>Mucor racemosus</i> IFO 4581	50	25	> 100	0.39
<i>Aspergillus niger</i> KF 105	50	50	> 100	> 100

Wuart (2001) telah meneliti tentang tanaman *Scorodarpus borneensis* (Baill.) Becc (Olacaceae) yang diperoleh dari negara Malaysia, dan hasil isolasi tanaman tersebut diperoleh senyawa sesquiterpen, scodopin dan tiga senyawa alkaloid tipe triptamin yaitu Scorodocarpine A-C. Struktur kimia seskuiterpen dan alkaloid hasil isolasi dari bawang hutan dapat dilihat pada Gambar 3.



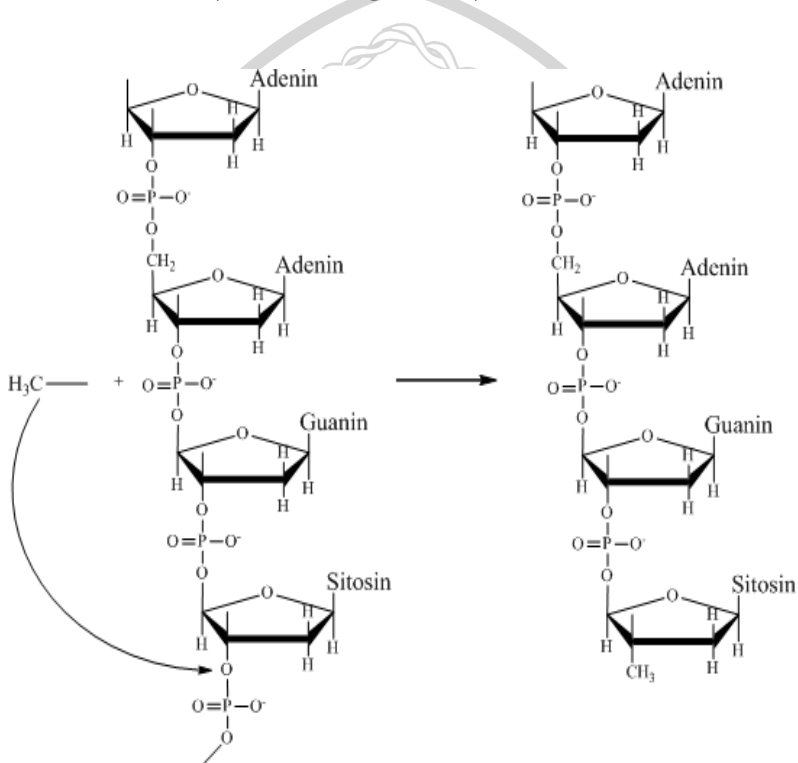
Gambar 3 Struktur kimia senyawa sesquiterpen dan beberapa alkaloid dari tanaman *Scrodocarpus borneensis* (Wiart, 2001)

D. Aktivitas Biologis Penghambatan Sel Kanker

Aktivitas biologis untuk penghambatan sel kanker dapat dilakukan dengan mekanisme penghambatan sintesa DNA. Replikasi DNA dapat terjadi dengan adanya sintesis rantai nukleotida baru dimana rantai nukleotida lama berfungsi sebagai patron (cetakan). Prosesnya dengan menggunakan komplementasi pasangan basa untuk menghasilkan suatu molekul yang berfungsi sebagai cetakan (template) DNA baru

yang sama dengan molekul DNA lama. Proses yang terjadi tersebut dipengaruhi oleh enzim helikase, enzim polimerase, ligase dan dNTP – dNTP.

Limus (2007) telah meneliti tentang mencegah kanker melalui mekanisme DNA. Metilasi DNA dan penekanan produksi Histon Deacetylase (HDAC) akibat rangsangan sulforaphane yang bekerja sama untuk mempertahankan fungsi sel normal, makin tinggi kadar sulforaphane maka semakin efektif untuk melawan kanker. Hal ini telah dibuktikan melalui penelitian terhadap kanker payudara pada tikus-tikus percobaan serta mencegah perkembangan sel-sel yang baru tumbuh (Munchberg, 2007).

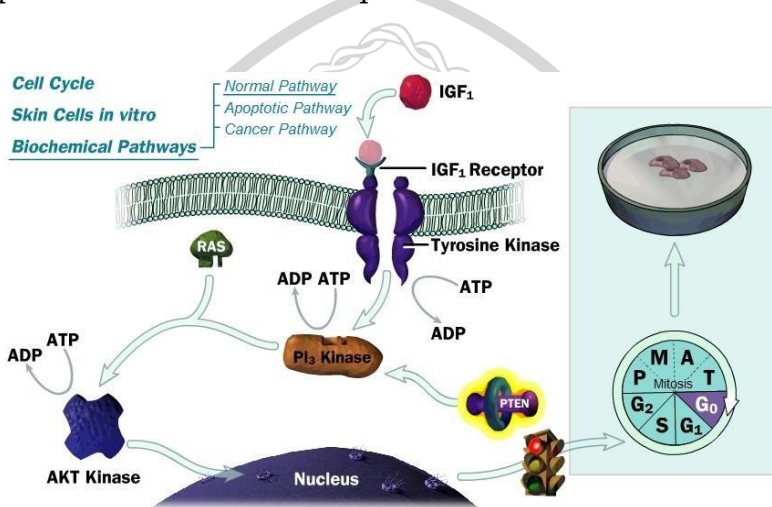


Gambar 4 Reaksi penghambatan rantai DNA yang mengandung adenin, guanin dan sitosin

E. Mekanisme Pembentukan Kanker

Pada dasarnya, pembelahan sel dibedakan menjadi 2 macam, yaitu pembelahan sel secara langsung dan secara tak langsung. Pembelahan sel secara langsung jika proses pembelahan tidak didahului dengan pembentukan gelondong pembelahan dan penampakan kromosom disebut dengan amitosis.

Adapun pembelahan sel secara tak langsung jika proses pembelahan didahului dengan pembentukan gelondong pembelahan dan penampakan kromosom. pembelahan secara tidak langsung ini meliputi pembelahan mitosis dan pembelahan meiosis.



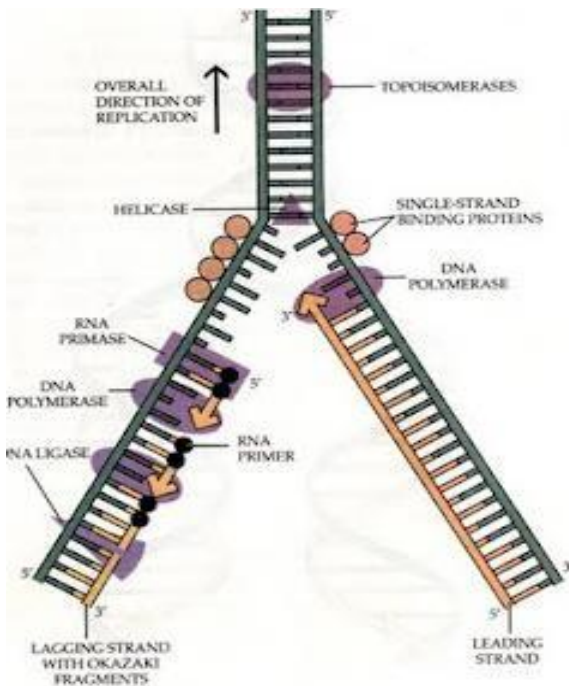
Gambar 5 Mekanisme Terbentuknya Sel Kanker

Mekanisme pada Gambar 5 menunjukkan bahwa pembelahan sel diawali dari terbentuknya kompleks antara IGF1 dengan reseptor nya (IGF1 reseptor) lalu mengaktifkan Tyrosin Kinase dengan bantuan ATP lalu PI3 akan aktif dengan bantuan ATP untuk membentuk kompleks dengan RAS, kemudian kompleks PI3 Kinase – RAS akan mengaktifkan AKT Kinase dengan bantuan ATP selanjut nya akan memberi sinyal kepada Nukleus untuk memulai melakukan pembelahan sel sesuai

dengan kebutuhan nya. Setelah keperluan sel yang dibutuhkan tercukupi maka PTEN akan merebut ATP yang akan dipergunakan PI3 Kinase sehingga kompleksnya dengan RAS tidak berlangsung dan sinyal selanjutnya juga akan terhenti maka pembelahan sel berikutnya akan terhenti juga.

Proses terbentuknya sel kanker diawali terganggunya PTEN oleh faktor inflamasi maupun paparan benda asing mengakibatkan PI3 Kinase akan mengikat ATP secara tidak terkendali sehingga respon untuk pembelahan sel juga tidak terkendali yang menghasilkan sel yang tidak dewasa dan tidak memiliki hubungan antar sel sehingga sel tidak memiliki fungsi biologis sebagaimana mestinya yang disebut sel kanker.

Umumnya sel kanker mempunyai sifat pertumbuhan yang berlebihan, gangguan diferensiasi sel dan jaringan, bersifat invasif terhadap jaringan di sekitarnya, dan menyebar ke jaringan lain (metastatis) yang menyebabkan pertumbuhan baru, dan terjadi perubahan metabolisme ke arah pembentukan makromolekul dari nukleosida serta asam amino juga peningkatan katabolisme karbohidrat untuk energi sel, seperti pada Gambar 6 (Watson, 1987).



Gambar 6 Pembelahan Sel yang Tidak Terkendali

Salah satu komponen sel digunakan untuk LINI SEL L1210 menguji sifat anti kanker suatu zat adalah inti sel L1210, di samping sel yang lainnya seperti sel hela (sel kanker yang berasal dari kanker leher rahim manusia), sel P388, sel KB (nasopharynx carcinoma), sel sarkoma 180 A, sel V 79, sel walker 256 dan lain-lain (Itokawa dan Takeya, 1993; Bulan, 2002). Lini sel L1210 atau limfoid leukemia L1210 adalah sel tumor yang diisolasi dari limfa tikus. Sifat-sifat yang spesifik dari lini sel L1210 adalah terjadinya perkembangbiakan yang tersebar luas ke organ lainnya dan dapat menyebabkan kematian dalam kurun 8-11 hari, merupakan sel tumor yang tumbuh cepat dengan persentase sel cukup tinggi dan memiliki tingkat pertumbuhan 100% (Bauguess, dkk., 1981). Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa lini sel L1210 memiliki resistensi terhadap obat antikanker

metotraksat (White dan Goldman, 1981; Wallerstein dkk, 1971).

Evaluasi sitoksitas suatu senyawa terhadap lini sel L1210 dilakukan dalam tiga tahapan yaitu :

1. Tahap isolasi lini sel,
2. Tahap penggandaan sel

Tahap tes bioassay, untuk tahapan tes bioassay dilakukan dalam mikropate 96 sumur (1 mL sel/sumur) (Kardono dkk., 2006).

F. Peran Antioksidan Dalam Memutus Reaksi Berantai Radikal Bebas

Antioksidan adalah senyawa yang mempunyai struktur molekul yang dapat memberikan elektronnya dengan cuma-cuma kepada molekul radikal bebas tanpa terganggu sama sekali fungsinya dan dapat memutus reaksi berantai dari radikal bebas. Terdapat tiga macam antioksidan yaitu :

1. Antioksidan yang dibuat oleh tubuh kita sendiri yang berupa enzim antara lain superoksida dismutase, glutathione peroxidase dan katalase.
2. Antioksidan alami yang diperoleh dari tanaman atau hewan, yaitu tokoferol, vitamin C, betakaroten, flavonoid dan senyawa fenolik.
3. Antioksidan sintetik, yang dibuat dari bahan-bahan kimia yaitu butylated hydroxy anisole (BHA), butylated hydroxy toluen (BHT), tetra butil hidroquinon (TBHQ) dan propil galat (PG), yang ditambahkan dalam makanan untuk mencegah kerusakan lemak.

Atas dasar fungsinya antioksidan dapat dibedakan menjadi lima bagian yaitu :

1. Antioksidan Primer
Antioksidan ini berfungsi untuk mencegah terbentuknya radikal bebas baru karena ia dapat merubah radikal bebas yang ada menjadi molekul yang berkurang dampak negatifnya, yaitu sebelum sempat bereaksi. Antioksidan primer yang ada

- dalam tubuh yang sangat terkenal adalah enzim superoksida dismutase.
2. Antioksidan Sekunder
Antioksidan sekunder merupakan senyawa yang berfungsi menangkap radikal bebas serta mencegah terjadinya reaksi berantai sehingga tidak terjadi kerusakan yang lebih besar. Contoh yang populer, antioksidan sekunder adalah vitamin E, vitamin C dan beta karoten yang dapat diperoleh dari buah-buahan.
 3. Antioksidan Tersier
Antioksidan tersier merupakan senyawa yang dapat memperbaiki sel-sel dan jaringan yang rusak karena serangan radikal bebas. Biasanya yang termasuk kelompok ini adalah enzim misalnya metionin sulfoksida reduktase yang dapat memperbaiki DNA dalam inti sel. Enzim tersebut bermanfaat untuk perbaikan DNA pada penderita kanker.
 4. Chelator atau Sequestrants
Senyawa Chelator atau Sequestrants dapat mengikat logam sehingga logam tersebut tidak dapat mengkatalisis reaksi oksidasi dan kerusakan dapat dicegah. Misalnya asam sitrat dan asam amino.
 5. Oxygen Scavenger
Antioksidan yang termasuk oxygen scavenger yang mampu mengikat oksigen sehingga tidak mendukung reaksi oksidasi, misalnya vitamin C. (Kumalaningsih, 2006).

G. Obat Antikanker

Pencarian obat antikanker baru memainkan peranan yang sangat penting tidak hanya dilakukan oleh perusahaan-perusahaan obat, tetapi juga oleh banyak organisasi pemerintahan. Tingkat kematian yang disebabkan oleh kanker cenderung meningkat diperkirakan dari sekitar 9 juta kematian pada tahun

2015 menjadi sekitar 11,4 juta kematian pada tahun 2030. Oleh karena itu, obat-obatan kanker baru yang lebih efektif sangat diperlukan (Saiz-Urra, 2009). Penggunaan obat anti kanker dimulai tahun 1946 dengan ditemukannya mustar nitrogen untuk mengobati leukimia. Jenis pengobatan kanker salah satunya dengan memberikan obat-obat pembunuh sel kanker/sitostatika (kemoterapi). Tujuan utama kemoterapi kanker adalah merusak secara selektif sel tumor yang berbahaya tanpa mengganggu sel normal. Obat antikanker dapat digolongkan menjadi beberapa jenis. Untuk lebih jelas tentang penggolongan obat antikanker dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Obat antikanker dan penggolongannya (Mulyadi, 1997)

Golongan	Sub golongan	Obat
1. Senyawa pengalkil	Mustar nitrogen	Mekloroetamin, Siklofostamid, Melfalan, Klorambusil, Mustarurasil.
	Etilenimin	Trietilenmelamin (TEM), Trietilentiofosforamid (Tio-TEPA).
	Ester asam sulfonat	Busulfan, Mileran, Dimetilmileran.
	Epoksid	Diepoksibutan, Epodil, Eponate.
2. Anti metabolit	Sejenis purin	6-Merkaptopurin, 6-Tioguanin.
	Sejenis pirimidin	Sitaribin, 5-Fluorourasil, 6-Azauridin.
	Sejenis folat	Metotraksat.
	Antagonis asam amino	Alanin, Selenilalanin, Fenilselenilalanin.
3. Antibiotik	Antagonis vitamin	Isoriboflavin, Deoksipiridoksin.
		Daktinomisin, Mitomisin, Daunorubisin, Daksorubisin, Mitramisin, Bleomisin.
		Dietilstilbestrol, Etinilestradiol.
		Tamoksifen.
4. Hormon	Estrogen	Testosteron
	Antiestrogen	
	Androgen	propionat, Fluoksimesteron.

Golongan	Sub golongan	Obat
5. Macam-macam	Progestin	Hidroksi progesteron kaproat.
	Adrenokortikosteroid	Prednison. Hidroksiurea, Prokarbazin, L-Asparaginase, Vinkristin, Vinblastin.

Ditinjau dari siklus sel obat antikanker dapat dikelompokkan menjadi dua jenis. Pertama obat yang kerjanya memperlihatkan toksisitas selektif terhadap sel yang sedang berproliferasi. Kelompok ini disebut kelompok cell cycle-specific (CCS). Kelompok obat CCS adalah vinkristin, vinblastin, sitarabin, fluorourasil, azositidin, bleomisin, merkaptopurin, tioguanin, hidroksiurea dan metotreksat. Kelompok kedua adalah kelompok cell cycle-nonspecific (CCNS). Kelompok obat CCNS adalah mekloroetamin, siklofosamid, melfalan, busulfan, tiotepa, karmustin, lomustin, semustin, mitomisin, daktomisin, deoksorubisin, daunorubisin.

Penentuan suatu zat dapat atau tidaknya dikembangkan sebagai obat anti kanker didasarkan pada sifat toksisitasnya. National Cancer Institute (NCI) telah menetapkan kriteria aktivitas berdasarkan nilai Inhibisy Concentartion 50 (IC50) yaitu konsentrasi yang dibutuhkan untuk menghambat pertumbuhan sel sebesar 50%. Suatu zat disebut bersifat sitotoksik bila aktivitas terhadap sel uji mempunyai nilai $IC_{50} < 20 \text{ g/mL}$ untuk suatu ekstrak, dan nilai $IC_{50} < 4 \text{ g/mL}$ untuk senyawa murni (Suffnes dan Pezzuto, 1991).

Selain IC50 untuk menentukan sifat sitotoksik suatu zat digunakan juga ukuran lain yaitu ED50 yaitu dosis yang efektif untuk menghambat pertumbuhan sel sebesar 50%. Setelah lolos dari uji penapisan awal selanjutnya dilakukan uji toksikologi pra klinis dan farmakologis melalui pengujian secara in vivo dengan beberapa sistem tumor hewan yang dapat di transplantasikan dan telah ditentukan sifat-sifatnya pada hewan percobaan.

H. Hasil Penelitian Yang Telah Dilakukan Terhadap Bawang Hutan (*Scrodocarpus borneensis* Becc.)

Determinasi Tanaman

Tumbuhan bawang hutan yang diteliti berasal dari Kebun Raya Samarinda Provinsi Kalimantan Timur dan dideterminasi oleh Laboratorium Herbarium Bogariense Bidang Botani Pusat Penelitian Biologi LIPI Cibinong dan dinyatakan sebagai *Scrodocarpus borneensis* Becc, suku dari Olacaceae.

Pembuatan Ekstrak Etanol Dan Partisi

Ekstrak etanol pekat yang diperoleh berwarna kuning kecoklatan, dengan berat 39,62 g (7,924%). Ekstrak etanol yang dipartisi menghasilkan tiga ekstrak (ekstrak n- heksana, etil asetat, dan air) dan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil bobot sampel yang dipartisi

Fraksi	Berat (g)	Bobot (% , b/b)
Ekstrak n-heksana	16.93	3.386
Etil asetat	1.22	0.244
Air	11.96	2.392

Tabel 3 menunjukkan bahwa bobot tertinggi terdapat pada ekstrak n-heksana. Hal ini berarti metabolit sekunder paling dominan terdapat pada fraksi non polar.

Hasil Pengujian Aktivitas Antioksidan Dan Antikanker Dari Hasil Partisi

Hasil pengujian aktivitas antioksidan terhadap sampel hasil partisi tersebut dilakukan dengan menggunakan metode peredaman radikal bebas yang dinyatakan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil uji aktivitas antioksidan hasil partisi

No	Fraksi	% Inhibisi pada Konsentrasi Ekstrak (ppm)			
		25	50	100	IC ₅₀
1	n-heksana	24.24	43.40	78.59	60.08
2	Etil asetat	19.89	34.98	75.91	66.80
3	Air	18.28	26.65	53.67	93.91

Tabel 4 tersebut menunjukkan bahwa daya aktivitas antioksidan tertinggi terdapat pada fraksi n-heksana yaitu sebesar 60,08 ppm, hal ini berarti pada fraksi n-heksana memiliki kemampuan meredam radikal bebas tertinggi dan berpotensi sebagai antikanker. Fraksi n-heksana dan etil asetat diuji aktivitas antikanker dan didapat masing-masing IC₅₀ fraksi n-heksana 15,33 ppm dan fraksi etil asetat 34,35 ppm.

Menurut National Cancer Institute (2003) sampel yang dapat dianggap memiliki potensi antikanker yaitu apabila IC₅₀ yang diperoleh lebih kecil dari 20 ppm. Sehingga sampel yang dilanjutkan pemurniannya menggunakan kromatografi kolom adalah fraksi n-heksana.

Hasil Pemurnian Dengan Kromatografi Kolom

Pemurnian fraksi n-heksana dilakukan menggunakan metode kromatografi kolom dengan eluen n-heksana dan etil asetat secara gradien (n-heksana : etil asetat = 20:1 ~ 1:1). Hasil fraksinasi n-heksana didasarkan pada R_f yang sama, sehingga diperoleh fraksi yang lebih sederhana (11 fraksi). Kesebelas fraksi hasil kromatografi kolom diuji aktivitasnya sebagai antioksidan (DPPH). Hasil uji aktivitas antioksidan diperoleh dua fraksi yang memiliki aktivitas tertinggi sebagai peredam radikal bebas yaitu fraksi 8 dan fraksi 9 dengan IC₅₀ masing-masing 49,31 ppm dan 65,28 ppm.

Hasil Kromatografi Kolom Pertama Untuk Fraksi 8

Kromatografi kolom untuk fraksi 8 dilakukan menggunakan eluen n-heksana dan etil asetat (2:1) dan hasilnya diperoleh lima fraksi. Fraksi 8.4 menghasilkan bobot tertinggi sebesar 0,46 g. Kelima hasil fraksinasi selanjutnya dianalisis dengan KLT diperoleh senyawa murni dengan R_f 0,26 dan diuji fitokimia memberikan reaksi positif terhadap reagen Dragendorff yang merupakan senyawa alkaloid. Hasil fraksinasi kromatografi kolom untuk fraksi 8 dan hasil uji aktivitas antioksidannya tersaji pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil uji aktivitas antioksidan pada fraksi 8

No	Fraksi	% Inhibisi pada Konsentrasi Ekstrak (ppm)			
		25	50	100	IC ₅₀
1	Fraksi 8.1	16.69	33.73	55.91	86.79
2	Fraksi 8.2	12.72	25.32	41.93	119.56
3	Fraksi 8.3	18.02	31.89	52.85	92.72
4	Fraksi 8.4	36.08	60.78	79.78	42.30
5	Fraksi 8.5	23.28	40.93	66.66	69.54

Hasil uji aktivitas antioksidan menunjukkan bahwa fraksi 8.4 memiliki aktivitas antioksidan tertinggi dengan IC₅₀ sebesar 42,30 ppm dan hasil uji aktivitas antikanker leukemia lini sel L1210 diperoleh IC₅₀ sebesar 1,71 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa fraksi 8.4 memiliki gugus fungsi yang dapat meredam radikal bebas serta dapat menghambat pertumbuhan sel kanker L1210. Selanjutnya untuk fraksi 8.4 yang kemudian disebut dengan isolat 8.4.1 dilakukan penentuan struktur kimia berdasarkan interpretasi data spektroskopi UV, FT-IR, NMR, dan spektra MS.

Hasil Kromatografi Kolom Kedua Untuk Fraksi 9

Kromatografi kolom untuk fraksi 9 dilakukan menggunakan eluen n-heksana dan etil asetat (2:1) dan hasilnya diperoleh lima fraksi 9. Fraksi 9.4 menghasilkan bobot tertinggi sebesar 0,37 g. Kelima hasil fraksinasi kromatografi kolom tersebut

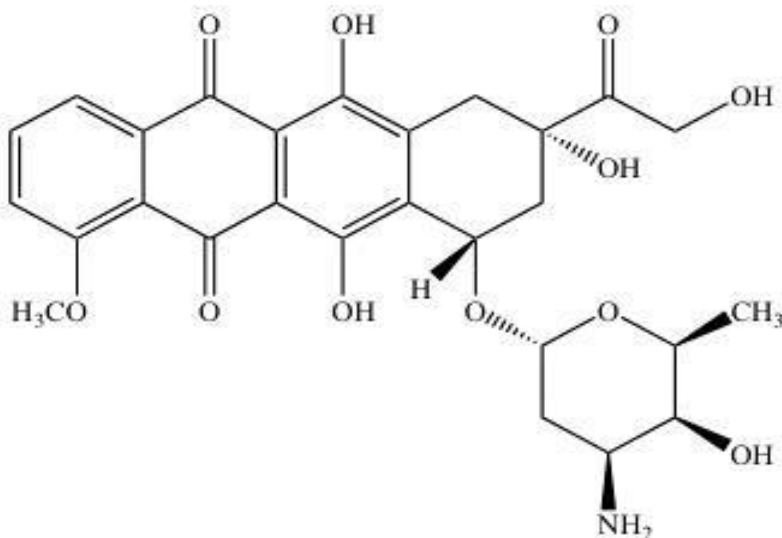
selanjutnya dianalisis dengan KLT diperoleh senyawa murni dengan Rf 0,14 dan diuji fitokimia memberikan reaksi positif terhadap reagen Dragendorff yang merupakan senyawa alkaloid. Hasil fraksinasi kromatografi kolom untuk fraksi 8 diuji aktivitas antioksidannya dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil uji aktivitas antioksidan pada fraksi 9

No	Fraksi	% Inhibisi pada Konsentrasi Ekstrak (ppm)			
		25	50	100	IC ₅₀
1	Fraksi 9.1	17.31	30.69	56.43	87.51
2	Fraksi 9.2	27.6	44.55	77.34	58.59
3	Fraksi 9.3	11.53	22.79	50.56	99.65
4	Fraksi 9.4	32.54	49.21	82.63	51.16
5	Fraksi 9.5	19.69	33.61	64.56	76.15

Hasil uji aktivitas antioksidan menunjukkan bahwa pada fraksi 9.4 memiliki aktivitas antioksidan tertinggi dengan IC₅₀ sebesar 51,16 ppm dan hasil uji aktivitas antikanker leukemia lini sel L1210 diperoleh IC₅₀ sebesar 1,11 ppm. Ini menunjukkan bahwa fraksi 9.4 memiliki gugus fungsi yang dapat meredam radikal bebas serta dapat menghambat pertumbuhan sel kanker L1210. Sebagai kontrol positif untuk uji aktivitas antioksidan digunakan Vitamin C yang memiliki IC₅₀ sebesar 7,95 ppm.

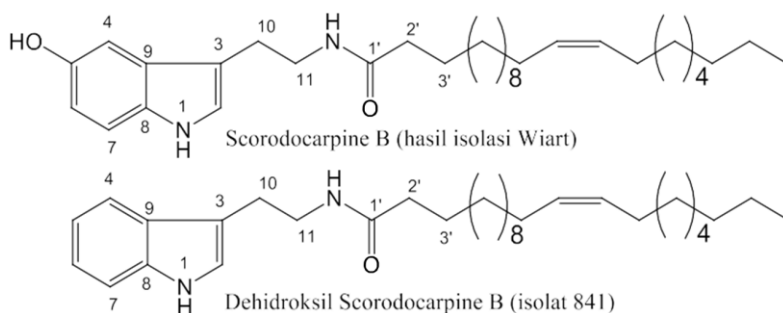
Berdasarkan hasil uji antikanker fraksi 9.4 memiliki aktivitas antikanker lebih tinggi dari fraksi 8.4, hal ini menunjukkan bahwa fraksi 9.4 memiliki kestabilan resonansi radikal bebas yang lebih tinggi dan lebih banyak dibandingkan dengan fraksi 8.4. Sebagai kontrol positif untuk uji aktifitas antikanker digunakan Doxorubisin seperti pada Gambar 9 memiliki IC₅₀ sebesar 0,18 ppm. Doxorubisin digunakan sebagai standart uji sel kanker sebagai anti proliferasi.



Gambar 9 Struktur molekul Doxorubisin

Identifikasi Struktur Kimia Isolat 8.4.1

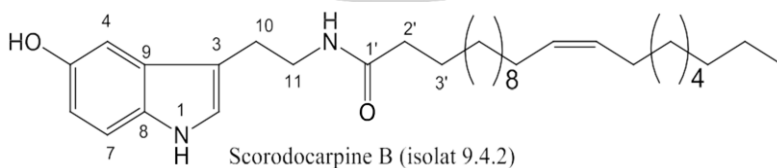
Konfirmasi struktur kimia isolat 8.4.1 dengan membandingkan senyawa scorodocarpine B yang diperoleh oleh Wiart. Hasil analisis UV, FTIR, NMR dan MS menunjukkan bahwa isolat 8.4.1 merupakan senyawa terdehidroksilasi dari scorodocarpine B yang diperoleh oleh Wiart, sehingga isolat 8.4.1 merupakan senyawa baru yang pertama sekali ditemukan pada buah bawang hutan dan disebut sebagai Dehidroksil Scorodocarpine B (sudah ditelusuri melalui Scifinder pada Chemical Abstract Society (CAS) secara on line). Dimana senyawa ini memiliki aktivitas antikanker terhadap lini sel L1210 dengan IC₅₀ sebesar 1,7053 µg/mL.



Gambar 10 Struktur kimia Scorodocarpine B dan Dehidroksil Scorodocarpine B

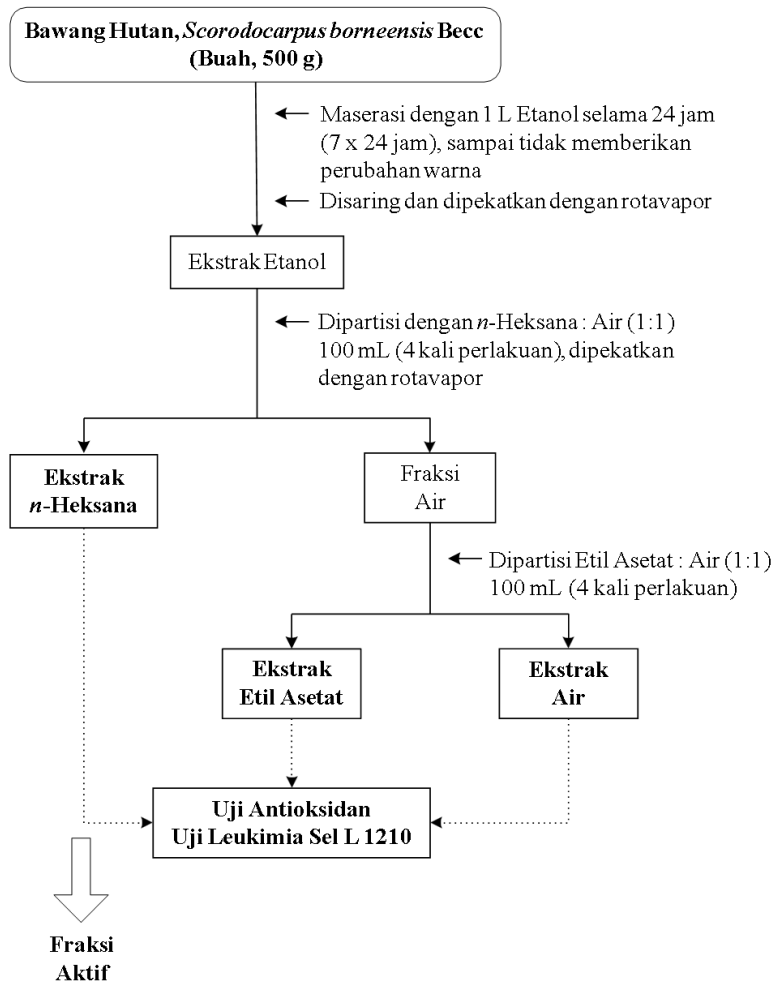
Identifikasi Struktur Kimia Isolat 9.4.2

Konfirmasi struktur kimia isolat 8.4.1 dengan membandingkan senyawa scorodocarpine B yang diperoleh oleh Wiart. Hasil analisis UV, FTIR, NMR dan MS menunjukkan bahwa dari senyawa scorodocarpin B (hasil isolasi oleh Wiart) menunjukkan bahwa kedua senyawa tersebut adalah sama. Jadi berdasarkan data UV, IR, NMR, MS dan data pergeseran kimia (proton dan karbon) dengan senyawa Scorodocarpin B, maka struktur kimia senyawa isolat 9.4.2 ditentukan sebagai senyawa Scorodocarpin B. Dan senyawa ini sama seperti yang ditemukan oleh Wiart (2001) dengan aktivitas antikanker terhadap lini sel L1210 dengan IC₅₀ sebesar 1,1061 µg/mL.

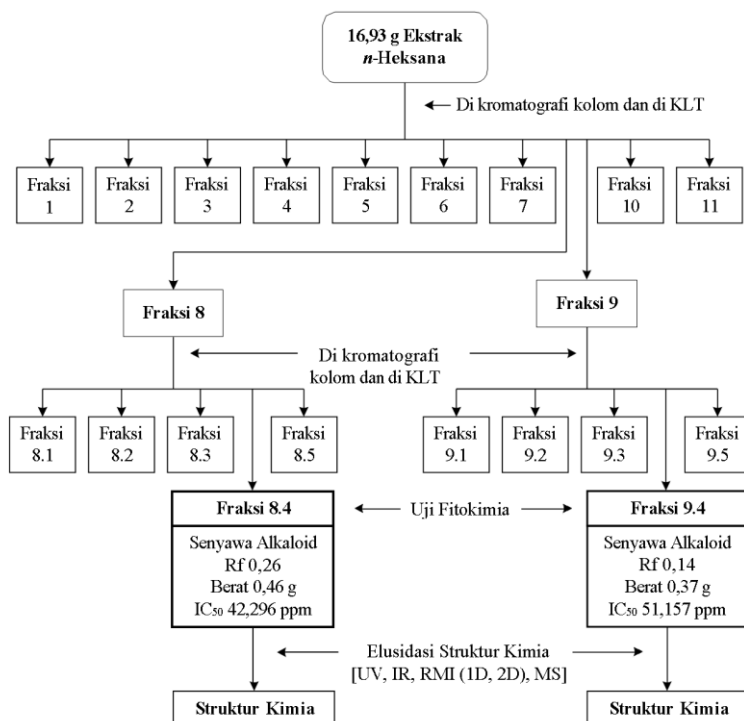


Gambar 11 Struktur kimia *Scorodocarpine B*

I. Skema Penelitian



Gambar 7 Diagram kerja isolasi buah bawang hutan



Gambar 8 Diagram pemurnian ekstrak hasil partisi buah bawang hutan

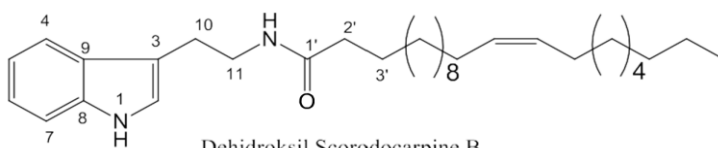
J. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian pada tumbuhan bawang hutan (*Scrodocarpus borneensis* Becc) maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

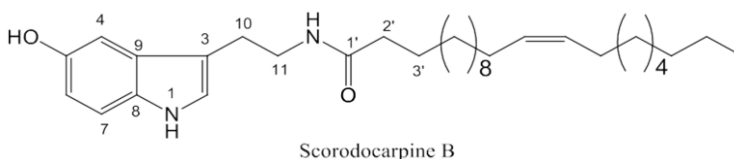
1. Ekstrak buah bawang hutan (*Scrodocarpus borneensis* Becc) mengandung senyawa flavonoid, saponin, steroid, dan senyawa metiltiometil yang berpotensi sebagai antibakteri dan antifungi.
2. Ekstrak kulit batang bawang hutan (*Scrodocarpus borneensis* Becc) berpotensi sebagai antibakteri karena adanya kandungan saponin, steroid, flavonoid dan senyawa bioaktif yang mengandung sulfur,
3. Ekstrak Buah Bawang Hutan berpotensi sebagai obat antikanker dimana senyawa isolat 8.4.1

memiliki aktivitas antikanker terhadap lini sel L1210 dengan IC₅₀ sebesar 1,7053 µg/mL, dan untuk isolat 9.4.2 memiliki aktivitas antikanker terhadap lini sel L1210 dengan IC₅₀ sebesar 1,1061 µg/mL, dengan kontrol positif Doxorubisin yang memiliki IC₅₀ sebesar 0,1763, µg/mL.

4. Struktur kimia dari isolat 8.4.1 adalah senyawa baru dengan nama Dehidroksi Scorodocarpin B dengan m/z 480.



Dan struktur kimia dari isolat 9.4.2 adalah nama Scorodocarpin B dengan m/z 496.



DAFTAR PUSTAKA

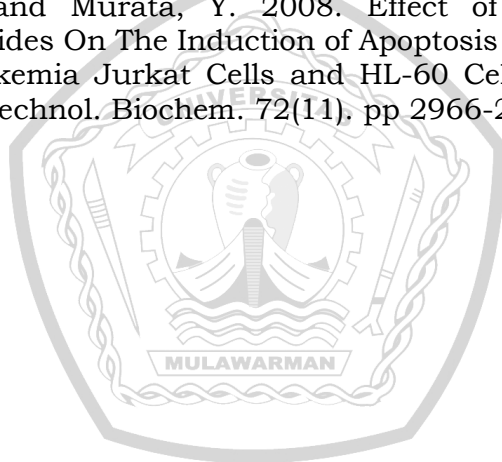
- Abe, F., Yamauchi, T. 1993. Megastigmanes and Flavonoids From The Leaves of *Scrodocarpus Borneensis* Beec. *Phytochem.* 33(6). pp 1499–1501.
- Alberts., B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, J. D. Watson. 1994. *Cancer in Molecular Biology of The Cell*, Gerland Publishing Inc., New York, pp 1255–1272.
- Artanti, N., Djamilah, Dewi, P.L., Liswidowati, Minarti, Hanafi, M., Kardono, L.B.S., Darmawan, A. 2003. *Evaluasi Potensi Ekstrak Taxus sumatrana dan benalu sebagai antikanker*. Pusat Penelitian Informatika. LIPI. Jakarta.
- Bauguess, C. T. Y., Lee, J. W., Kosh, J. E. Wynn. 1981. Comparison of Quantitation Methods For L1210 Cell Population and Evaluation of Selected Cytotoxic Agent in Leukimia Mice. *J. Pharm. Sci.* pp 46–48.
- Bhusan, A., Hacker, M.P., Tritton, T.R. 1999. Collateral Methotrexate Resistance in Cisplatin-Selected Murine Leukemia Cells. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 32(7). pp 827–833.
- Bulan, R. 2002. Lantaden XR. Glikosida, Suatu Komponen Daun Lantana camara L., yang Sitotoksik Terhadap Lini Sel L1210. [Disertasi]. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 1995. *Farmakope Indonesia*. Edisi IV. Jakarta : Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan.
- Eagle, H., Foley, G. E. 1958. Cytotoxicity in Human Cell Cultures as A Primary Screen For The Detection of Antitumor Agents. *Cancer Res.* 18. pp 1017–1025.
- Fowler. M.W. 1983. *Commercial Application and Economic Aspect of Mass Plant Cell Cancer*. Plant

- Biotechnology. Cambridge University Press. England.
- Hanani E. 2010. Herbal Indonesia Berkhasiat. Trubus Info Kit Vol 8.
- Harbone, J.B. 1987. Metode Fitokimia Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan. Diterjemahkan oleh Padmawinata K dan Soediro Iwan, Edisi II. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Harrow, B.E., Borek, A., Mazur, G.C.H., Stone, Wagreich, H. 1960. Laboratory Manual of Biochemistry. fifth edition. W.B. Saunders Co. Philadelphia. London.
- Heyne, K. 1987. Tumbuhan Berguna Indonesia. Jilid II. Diterjemahkan Oleh Badan Litbang Kehutanan. Jakarta: Yayasan Sarana Wano Jaya.
- Hirota, A., Taki, S., Kawaii, S., Yano, M. and Abe, N. 2000. 1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl Radical-Scavenging Compounds From Soybean Miso and Antiproliferative Activity of Isoflavones From Soybean Miso Toward The Cancer Cell Lines. Biosci. Biotechnol. Biochem. 64(5). pp 1038-1040.
- Kardono, L.B.S., Hanafi, M., Sherley, G., Kosela, S. and Harrison. 2006. Bioactive Constituent of *Garcinia Porrecta* and *G. parvolia* Grown in Indonesia. Pak. J. Biol. Sci. 9(3). pp 283-486.
- Kartika, R. 1999. Isolasi Senyawa Anti Bakteri Dalam Kulit Batang Kayu Bawang (*Scorodocarpus borneensis* Bess) [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor .
- Kubota, K., Matsumoto, Ueda, Kobayashi, A. 1994. New Antimicrobial Compound From *Scrodocarpus Borneensis* Beec. Biosci. Biotech. Biochem. 58(2). pp 430-431.
- Kumalaningsih, S. 2006. Antioksidan Alami. Trubus Agrisarana. Surabaya.
- Lee, S.M., Min, B.S. Kho, Y.H. 2002. Brine Shrimp Lethality of The Compound from *Phyrma leptostachya* L. Arch. Pharm. Res. 25(5). pp 652-654.

- Lim, H., Kubota, K., Kobayashi, A., Sugawara, F. 1998. Sulfur-containing Compounds from *Scorodocarpus borneensis* and Their Antimicrobial Activity. *Phytochem.* 48(5). pp 787-790.
- Linus, P. 2007. Second Protective Mechanism Discovered for Sulforaphane. Institut Oregon Statet University.
- Meyer, B.N., Ferrigni, N.R., Putnam, J. E., Jacobsen, L.B., Nicholas, D.E., and McLaughlin, J.L. 1982. Brine Shrimp: A Conventient General Bioassay for Active Plant Constituents. *Planta Medika.* 45. pp 31-34.
- Molyneux, P. 2004. The Use of The Stable Free Radical Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) For Estimating Antioxidant Activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 26(2). pp 211-219.
- Montgomery, R., Dryer, R.L., Conway, T.W., Arthur, A.S. 1993. *Biochemistry : A Case - Oriented Approach.* J. Cu Mosby Company.
- Mulyadi. 1997. *Kanker: Karsinogen, Karsinogenesis & Antikanker.* PT. Tiara Wacana Yogya. Hal. 95.
- Munchberg, U., Anwar, A., Susanne, Mecklenburg, C.J. 2007. Polysulfides as Biologically Active Ingredients of Garlic.
- Pisutthanan, S., Plianbangchang, P., Pisutthanan N., Ruanruay, S., Muanrit, O. 2004. Brine Shrimp Lethality Activity of Thai Medicinal Plants in The Family Meliaceae. *Naresuan Univ. J.* 12(2). pp 13-18.
- Replikasi DNA.
<http://desybio.wordpress.com/tag/replikasi-semikonservatif/>. Diakses 20 Juni 2012.
- Reginald, H.G., Grishon, C.M. 2006. *Biochemistry.* Third Edition. Thomson Brooks-cole Australia, Canada, Mexico-Singapore, pp. 358-360.
- Saiz-Urra, L., Perez-Castillo, Y., Gonzalez, M.P., Ruiz, R.M., Corderio, M.N.D.S., Rodriguez-Borges, J.E. Garcia, X.G. 2009. Theoretical Prediction On

- Antiproliferative Activity Againts Murine Leukemia Tumor Cell Line (L1210). 3D- Morse Descriptor And Its Application in Computational Chemistry. QSAR Combinational Sci. 28 (1). pp 98-110.
- Salmon, S. E., Sartorelli, A. C. 1998. Cancer Chemoteraphy. Basic and Clinical Pharmacology. Departement of Pharmacology University of California, San Fransisco. pp 881-884.
- Silverstein, R.M., Bassler, G.C., Morrill, T.C. 1991. Spectrometric Indentification Of Organic Compounds, Fifth Edition, John Wiley & Son Inc., New York.
- Soeng S, Rusmana D, Wargasetia TL. Basic Biology of Cells : Kapita Selekt. Edisi 2. Bandung : Grafika. 2009. pp 113-128
- Suffness, M. Pezzuto, J. M. 1991. Assays Realted To Cancer Drug Discovery in To Methods in Plant Biochemistry. 6. pp 71-124.
- Thomson, E.B. 1990. Drug Bioscreening Drug Evaluation Tecniques in Pharmacology. VCH. New York. 50. Pp. 722.
- Toplin, I., 1959. A Tissue Culture Cytotoxicity Test For Large Scale Cancer Chemotheraphy Screening. Cancer Res. 19. pp 959-965.
- Wallerstein, H., Slater, L.M., Eng, B. and Calman. 1971. Reversal of Resistance To Methotrexate In L1210 Murine Leukemia By Uracil. Blood. 38. pp 648-656.
- Watson., J. D., Hopkins, N.H., Roberts, J. W., Steitz, J. A., Weiner, A. M. 1988. Molecular Biology of The Gene. The Benjamin Cumming Publishing Company Inc., California. USA. pp 25 - 34.
- White, J.C. and Goldman, I.D. 1981. Methotrexate Resistance in An L1210 Cell Line Resulting From Increased Dihydrofolate Reductase, Decreased Thymidylate Synthetase Activity, And Normal Membrane Transport. J. Biol. Chem. 256(11). pp 5722-5727.

- Wuart, C., Martin, M.T., et.all. 2001. Sesquiterpenes And Alkaloids From *Scorodocarpus borneensis*. *Journal of Phytochemistry* 58. pp 653-656.
- Williem, R. A. D., P. A. Lambert and P. Singlegot, 1996. *Antimicrobial Drug Action*, Bios Scientific Publisher Ltd, Oxpord, London. pp 1 – 20.
- Wing YH dan X.P Gen. 2002. *Hand Book of Active Constituens From Chine Keteria America and Phatomedicine*, Hongkong Comercial Press.
- Yen G., Chen, H. 1995. Antioxidant Activity of Various Tea Extract in Relation To Their Antimutagenicity. *J. Agric. Food Chem.* 43. pp. 27-32.
- Zhang, G., Wu, H., Zhu, B., Shimoishi, Y., Nakamura, Y. and Murata, Y. 2008. Effect of Dimethyl Sulfides On The Induction of Apoptosis In Human Leukemia Jurkat Cells and HL-60 Cells. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 72(11). pp 2966-2972.



UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang berbahagia ini perkenankanlah saya untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Rektor Universitas Mulawarman dan seluruh anggota Senat Guru Besar Universitas Mulawarman yang telah menyetujui saya untuk mendapat kehormatan sebagai Guru Besar Tetap di Universitas Mulawarman. Semoga amanah dan kepercayaan ini dapat saya laksanakan dengan sebaik-baiknya.

Ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Bapak/Ibu guru saya yang telah mendidik saya di SD Negeri 060822 Medan, SMP Negeri 4 Medan, SMA Negeri 6 Medan yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan cara berperilaku yang baik.

Penghargaan terima kasih juga saya sampaikan kepada Dekan dan Staf Pengajar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara terkhusus kepada Ibu Prof. Dr. R. A. Harlinah Sumirah Prayitno Wirohusodo MSc. (Alm.) dan Bapak Dr. H. Ribu Surbakti, M.Si. yang telah membimbing saya menggapai gelar Drs.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Dekan dan seluruh staf pengajar Bioteknologi Program Magister IPB terkhusus Ibu Prof. Dr. Hj. Aisjah Girindra (Alm.), Prof. Dr. Drh. Maria Bintang, MS., dan Dr. Dra. Anna P. Roswiem, MS. yang telah membimbing saya menyelesaikan program S2.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Dekan dan Seluruh staf pengajar Ilmu Kimia S3 Universitas Sumatera Utara terkhusus kepada Prof. Dr. Tonel Barus sebagai Promotor serta Prof. (Ris) Dr. Partomuan Simanjuntak, M.Sc. dan Dr. H. Ribu Surbakti, M.Si. sebagai Co-Promotor sehingga saya dapat menyelesaikan Program S3 di USU.

Saya berterima kasih kepada seluruh anggota Panitia Orasi Ilmiah Universitas Mulawarman yang telah mendukung serta memberikan perhatiannya, sehingga Acara Orasi Ilmiah ini dapat terselenggara dengan baik.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini izinkanlah saya menyampaikan rasa kasih sayang dan ucapan terima kasih yang tak terhingga saya kepada kedua orang tua, Almarhum Bapak Abdullah dan Ibu Sa'ana yang sejak kecil dengan sabar telah membesarkan, mendidik dan membimbing saya hingga akhirnya dengan doa dan restu mereka saya dapat menyelesaikan pendidikan S3 saya dan menjadi insan yang berguna. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada kedua mertua saya, Almarhum Bapak Tugiman K. S. dan Ibu Khasya yang telah memberikan bimbingan dan perhatian saya selama meniti karir.

Kepada Istri tercinta, Yusnelli yang senantiasa hadir menemani saya selama mengenyam pendidikan lanjut, penelitian dan tugas-tugas saya. Ucapan terima kasih yang tak terhingga saya berikan atas segala kasih sayang, pengertian, perhatian dan kesabarannya serta dukungan yang selalu diberikan kepada saya selama ini. Kepada anak saya dr. Arya Pratama dan Liza Kartika, S. Farm., Apt. saya ucapkan terima kasih yang sangat dalam atas pengeringan, kesabaran dan kasih sayang yang diberikan selama saya menyelesaikan studi.

Tak lupa ucapan terima kasih saya sampaikan kepada seluruh asisten saya yang telah membantu saya dalam berkarya maupun membuat persiapan orasi ilmiah ini.

Akhirnya dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa maka saya akhiri penyampaian orasi ilmiah ini. Kepada Bapak, Ibu, Saudara dan hadirin sekalian yang telah meluankan waktu untuk hadir dalam acara orasi ini saya ucapkan terima kasih.

CURRICULUM VITAE

Nama : **Prof. Dr. Drs. Rudi Kartika, M.Si.**
NIP : 19670205 199403 1 002
NIDN : 0005026708
Tempat, Tanggal
Lahir : Medan, 5 Februari 1967
Agama : Islam
Email : -
No HP : +62 852-5097-4577
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam
Pangkat, Gol. : Pembina Utama Muda / IV C
Jabfung, TMT : Guru Besar
TMT Golongan : 1 September 2024
ID SINTA : 6040290
ID SCOPUS : 56380394700

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Doktor di Jurusan Kimia Program Pasca Sarjana USU 2013
2. Magister Sains di Program Studi Bioteknologi Pasca Sarjana IPB 1999
3. Sarjana Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam USU 1992
4. SMA Negeri 6 Medan 1983 – 1986
5. SMP Negeri 4 Medan 1980 – 1983
6. SD Negeri 060822 Medan 1974 – 1980

PELATIHAN PROFESIONAL

1. Pelatihan Laboratorium dan Teknisi, MIPA LPTKITB dan IKIP Bandung 1995
2. Pelatihan Analisis Kualitas Air dan Udara, ITB Bandung 1999

RIWAYAT JABATAN

1. Asisten Laboratorium Biokimia FMIPA USU 1989 – 1992
2. Kepala Laboratorium Biokimia Akademik Analis Kesehatan YRSU Glugur Medan 1990 – 1994
3. Ketua Laboratorium Kimia FKIP Unmul 2000 – 2001
4. Ketua Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Unmul 2001
5. Kepala Laboratorium Terpadu FMIPA Unmul 2007 – 2014
6. Kepala Laboratorium Biokimia FMIPA Unmul 2014 – 2019
7. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unmul 2019 – 2023
8. Koordinator Program Studi Magister Kimia FMIPA Unmul 2023 – sekarang

RIWAYAT MENGAJAR

1. S1 Biokimia Pendidikan Kimia FKIP Unmul 1994 – 1997
2. S1 Kimia Industri Pendidikan Kimia FKIP Unmul 1994 – 1997
3. S1 Kimia Dasar Pendidikan Kimia FKIP Unmul 1994 – 1997
4. S1 Biokimia Bahan Makanan Pendidikan Kimia FKIP Unmul 1994 – 1997
5. S1 Bioteknologi Prodi Kimia FMIPA Unmul 2001 – 2020
6. S1 Biokimia Bahan Makanan Prodi Kimia FMIPA Unmul 2001 – sekarang
7. S1 Kimia Industri Prodi Kimia FMIPA Unmul 2001 – 2020
8. S1 Biokimia Lanjut Prodi Kimia FMIPA Unmul 2001 – 2022
9. S1 Teknik Laboratorium Prodi Kimia FMIPA Unmul 2001 – 2004

- 10.S1 Biokimia Medisinal Prodi Kimia FMIPA Unmul 2001 – 2020
- 11.S1 Biokimia Prodi Kimia FMIPA Unmul 2001 – 2022
- 12.S1 Struktur dan Fungsi Biomolekul Prodi Kimia FMIPA Unmul 2022 – sekarang
13. S1 Metabolisme dan Informasi Genetik Prodi Kimia FMIPA Unmul 2022 – sekarang
- 14.S2 Metabolisme Prodi Kimia FMIPA Unmul 2019 – sekarang
- 15.S2 Biokimia Fisik Prodi Kimia FMIPA Unmul 2019 – sekarang
- 16.S2 Biokimia Lanjut 1 Prodi Kimia FMIPA Unmul 2019 – sekarang

PEMBIMBINGAN MAHASISWA

1. Sebagai Pembimbing 1 dan Pembimbing 2 Mahasiswa Pendidikan Kimia FKIP Unmul 1998 – 2001
2. Sebagai Pembimbing 1 dan Pembimbing 2 Mahasiswa Prodi Sarjana Kimia FMIPA Unmul 2004 – sekarang
3. Sebagai Pembimbing 1 dan Pembimbing 2 Mahasiswa Prodi Magister Kimia FMIPA Unmul 2018 – sekarang

PUBLIKASI DAN KARYA ILMIAH

1. Dukha, I. N., Kartika, R., & Koesnarpadi, S. (2019). Hydrocarbons bioremediation soil using eschericia coli (E. coli) and klebsiella SP bacteria with the addition of inorganic fertilizers as nutrients. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(9), 868–873.
2. Kartika, R., Barus, T., Subakti, R., & Simanjuntak, P. (2014). Structure Characterization of Alkaloid Scorodocarpines Derivative from Fruits of *Scorodocarpus borneensis* Becc (Olacaceae). *Asian Journal of Chemistry*, 26(18), 6047–6049.

3. Kartika, R., Barus, T., Surbakti, R., & Simanjuntak, P. (2015). Anticancer activity of bioactive compounds from fruits of Bawang hutan (*Scorodocarpus borneensis* Becc). *Asian Journal of Chemistry*, 27(12), 4663–4665.
4. Kartika, R., Bustanussalam, B., & Simanjuntak, P. (2012). Identification of Cadalene- β -Carboxylic Acid from Barks of Bawang Hutan (*Scorodocarpus borneensis* Becc.). In *Annales Bogorienses* (Vol. 16, Issue 2, pp. 19–22).
5. Kartika, R., Sudrajat, Bustanussalam, & Simanjuntak, P. (2019). Hydrochalcone compounds from indonesian medicinal plant, “Sirih Hutan”, *piper aduncum* (Piperaceae). *Rasayan Journal of Chemistry*, 12(3), 1022–1026.
6. Kartika, R., Sukanadi, I. P., Prasetya, A. S., & Irawan, D. (2019). Utilization tofu dregs as a source of nitrogen in fermentation of tuber ganyong (*canna edulis* kerr.) by *saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(8), 1054–1057.
7. Kusuma, R., Sudrajat, & Kartika, R. (2019). A rapid in vitro protocol for callus production in *Piper aduncum* L. propagation of East Kalimantan supplemented with gradient sucrose solutions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1277(1), 2–7.
8. Lestari, D., Kartika, R., & Marliana, E. (2019). Antioxidant and anticancer activity of *Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb on leukemia cells L1210. *Journal of Physics: Conference Series*, 1277(1).
9. Lestari, D., Kartika, R., Marlina, E., & Syamsul, E. S. (2019). ANALISIS FRAGMENTASI GC-MS SENYAWA AKTIF ANTIKANKER LEUKEMIA FRAKSI KLOOROFORM UMBI BAWANG TIWAI (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb). *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 5(1), 1–7.
10. Sudrajat, S., Kartika, R., & Kustiawan, W. (2019). Analysis phytochemical compounds of ethyl acetate extract garlic tree, *scorodocarpus borneensis* becc

- as a source of bioactive ingredients. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(6), 183–186.
11. Sudrajat, S., Kartika, R., & Sudiastuti, S. (2019). Metabolites fingerprint leaf extract of Bekkai plant, *Albertisia papuana* Becc as natural food seasonings using by Dayak Ethnic Community in North Kalimantan, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1277(1).
 12. Kartika, R., & Simanjuntak, P. (2013). UJI ANTIKANKER KULIT KAYU BAWANG HUTAN (*Scorodocarpus borneensis* Becc.) TERHADAP SEL LEUKEMIA L1210. PROSIDING SEMINAR NASIONAL KIMIA.
 13. Kartika, R., Pratiwi, D., -, A., Utama, W., & Santoso, W. (2016). THE EFFECT OF MACKEREL (*Scomberomorus commerson*) IN THE FEED TO THE DECLINE IN BLOOD CHOLESTEROL LEVEL HYPERCHOLESTEROLEMIC MALE MICE (*Mus musculus*). PROSIDING SEMINAR NASIONAL KIMIA.
 14. Kartika, R. (2016). Pengaruh Pemberian Ekstrak Etanol Daun Kecapi (*Sandoricum koetjape* (Burm.f.) Merr.) Terhadap Penurunan Kadar Kolesterol Total pada Mencit Jantan (*Mus musculus*). *JURNAL KIMIA MULAWARMAN*, 13(2)



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Zulkarnaen, M.Si.

PENTINGNYA INTEGRASI KREATIVITAS ILMIAH
DALAM PEMBELAJARAN FISIKA UNTUK
MENUMBUHKAN BUDAYA INOVASI

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

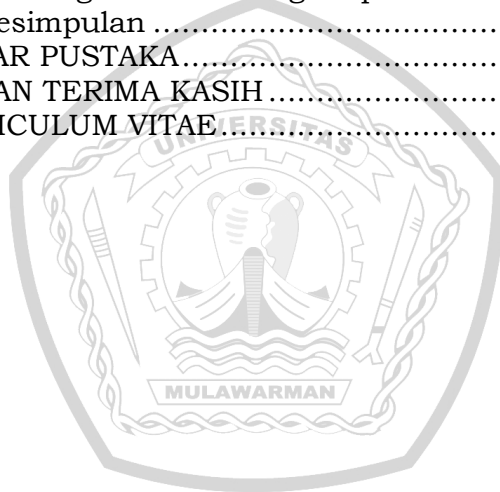
FOTO ORATOR



Prof. Dr. Zulkarnaen, M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan	4
B. Kreativitas Ilmiah dan Inovasi	5
C. Kreativitas Ilmiah dan Literasi Sains Fisika ..	6
D. Pembelajaran Kreativitas Ilmiah, Literasi Sains Fisika dan Inovasi	7
E. Tantangan dan Strategi Implementasi.....	9
F. Kesimpulan	9
DAFTAR PUSTAKA.....	11
UCAPAN TERIMA KASIH	14
CURRICULUM VITAE.....	15



SINOPSIS

PENTINGNYA INTEGRASI KREATIVITAS ILMIAH DALAM PEMBELAJARAN FISIKA UNTUK MENUMBUHKAN BUDAYA INOVASI

Tidak dapat dipungkiri, Inovasi merupakan kekuatan utama kemajuan sosial suatu bangsa. Inovasi menjadi kunci sebuah bangsa menjadi terdepan. Inovasi sangat dibutuhkan untuk mencapai “Visi Indonesia Emas 2045, Negara Nusantara Berdaulat, Maju dan Berkelanjutan.” Salah satu agendanya adalah “Mewujudkan Transformasi Sosial,” salah satu misinya adalah “Pendidikan Berkualitas dan Merata.” Inovasi tidak berjalan dengan sendirinya namun diperlukan kreativitas, yaitu seperangkat keterampilan yang digunakan selama proses inovasi. Pendidikan berkewajiban untuk membentuk generasi yang memiliki kreativitas, sehingga dapat diharapkan menghasilkan inovasi-inovasi yang meningkatkan daya saing bangsa. Kreativitas ilmiah berbeda dengan kreativitas pada umumnya. Kreativitas ilmiah merupakan sejumlah kemampuan yang khusus terkait kemampuan intelektual, yang sangat tergantung pada tingkat pengetahuan dan keterampilan ilmiah yang dimiliki seseorang. Dalam kurun waktu 20 tahun terakhir terdapat 254 artikel dalam databased scopus tentang kreativitas ilmiah, sepertiganya adalah dari Cina. Saat ini Cina merajai dunia dengan produk-produknya hasil inovasi.

Integrasi kreativitas ilmiah dalam pembelajaran fisika akan melatih siswa memiliki karakter kreatif (*creative person*), yaitu jika diberikan pertanyaan, siswa kreatif akan memberikan banyak jawaban (*fluency*), dari berbagai bidang (*flexibility*) dan jawabannya sangat jarang terpikir oleh orang lain (*originality*). Integrasi kreativitas ilmiah akan melatih siswa menguasai

proses berpikir kreatif (*creative process*), yaitu teknik berpikir kreatif dan imaginative.

Integrasi ini juga akan melatih siswa menghasilkan sesuatu yang kreatif (*creative product*), yaitu: 1) kreatif menemukan atau merumuskan berbagai masalah, 2) kreatif menentukan berbagai alternatif solusi penyelesaian masalah, 3) kreatif mengembangkan ilmu dengan mengajukan berbagai pertanyaan ilmiah dan 4) kreatif memodifikasi memberikan nilai tambah dari suatu produk.

Tumbuhnya kreativitas ilmiah yang baik memerlukan pemahaman sains yang baik dan memiliki keterampilan berpikir yang baik. Pemahaman sains fisika yang baik adalah sampai pada tingkat literat, yaitu menguasai pengetahuan fakta, konsep dan prosedur; memiliki kompetensi menjelaskan fenomena alam secara ilmiah, mendesain sebuah eksperimen fisika, memecahkan masalah dan memiliki karakter peduli terhadap lingkungan sekitar, terkait pemanfaatan fisika.

Mengamati pembelajaran fisika saat ini, maka ada 2 tantangan implementasinya yaitu 1). Pembelajaran fisika di sekolah masih jauh dari level literat, yaitu baru pada level pengetahuan konsep dan sedikit keterampilan prosedur sains. 2). Lemahnya budaya kreatif.

Solusi yang paling layak dilakukan adalah membekali calon guru fisika mampu mendesain pembelajaran sampai pada literat fisika dan mengintegrasikan kreativitas ilmiah, dengan terus-menerus meningkatkan kualitasnya melalui penelitian yang bermanfaat dan mendesiminasikannya ke guru-guru melalui pengabdian kepada masyarakat.

Terkait kreativitas dalam pembelajaran, penulis sudah melakukan penelitian sejak Tahun 2013 dan sudah mempublikasikan dalam bentuk seminar nasional dan internasional, prosiding, jurnal nasional dan internasional serta buku yang berjudul "Model

Pembelajaran *C3PDR* untuk meningkatkan Kreativitas ilmiah Siswa”.

Syukur kami panjatkan kepada Allah Subhanallahu Taala atas Pencapaian Guru Besar.

Pencapaian Guru Besar ini, saya persembahkan

1. Keluarga kecil kami, Istri: Kasmawati, S.Pd, Anak-anak: dr. Kania Alawiyah, S.Ked, Wildan Hanif, ST, MS dan Fariz Achmad Firdaus.
2. Keluarga besar kami, Bapak Almarhum H. Asin Ripin dan Umak kami Almarhuma Rohaya, Bapak mertua Almarhum H. Syamsuddin Sarra dan ibu mertua Hj. Nurba serta kakak adik kami serta keponakan

Kami ucapkan terima kasih kepada:

Menteri Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi, Rektor Universitas Mulawarman, Ketua Senat dan seluruh anggota senat Universitas, Tim penilai GB, Dekan FKIP, Ketua Senat FKIP dan seluruh anggotanya, Ketua LP2M dan LP3M beserta jajarannya, Teman-teman tendik di Rektorat dan di FKIP, keluarga besar Unmul khususnya FKIP, terkhusus rekan-rekan dosen dan mahasiswa Pendidikan fisika.

Demikian orasi ini, Terima kasih, Assalamualaikum Warohamtullahi Wabarokatuh.

A. Pendahuluan

Tidak dapat dipungkiri, Inovasi merupakan kekuatan utama kemajuan sosial suatu bangsa. Inovasi menjadi kunci sebuah bangsa menjadi terdepan. Inovasi sangat dibutuhkan untuk mencapai “Visi Indonesia Emas 2045, Negara Nusantara Berdaulat, Maju dan Berkelanjutan.” Visi Indonesia Emas 2045 adalah pandangan bangsa Indonesia mengenai keadaan bangsa yang diinginkan pada 100 (seratus) tahun kemerdekaannya. Salah satu agendanya adalah “Mewujudkan Transformasi Sosial,” salah satu misinya adalah “Pendidikan Berkualitas dan Merata.” Inovasi tidak berjalan dengan sendirinya namun diperlukan kreativitas, yaitu seperangkat keterampilan yang digunakan selama proses inovasi. Pendidikan berkewajiban untuk membentuk generasi yang memiliki kreativitas, sehingga dapat diharapkan menghasilkan inovasi-inovasi yang meningkatkan daya saing bangsa.

Pentingnya pembelajaran kreativitas ditunjukkan dengan beberapa publikasi internasional, diantaranya Tu et al. (2023), Cropley (2018), Julfitri et al. (2020), Liu (2020), Tang et al. (2022), Zulkarnaen et al. (2017), Zulkarnaen et al. (2018) *The Future of Jobs Report 2020* menempatkan kreativitas sebagai ke dalam lima besar keterampilan berpikir tingkat tinggi yang sangat dibutuhkan (*World Economic Forum, 2020*) Kreativitas ilmiah berbeda dengan kreativitas pada umumnya. Kreativitas ilmiah merupakan sejumlah kemampuan yang khusus terkait kemampuan intelektual, yang sangat tergantung pada tingkat pengetahuan dan keterampilan ilmiah yang dimiliki seseorang. Selain itu, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi akan lebih memudahkan meningkatkan kreativitas ilmiah yang pada akhirnya menghasilkan produk-produk hasil inovasi yang memiliki daya saing dan modal untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat.

Pengembangan pembelajaran fisika yang mengintegrasikan kreativitas ilmiah lebih diarahkan mendukung inovasi 9 bidang riset unggulan, sesuai Rencana Induk Riset Nasional 2017 – 2045 bidang energi.

Orasi ilmiah ini bertujuan lebih mengeksplicitkan arah pengembangan keilmuan penulis, untuk mengambil peran dalam pencapaian Visi Indonesia Emas Tahun 2045, khususnya pada salah satu dari 5 sasarnya yaitu “Meningkatkan daya saing sumber daya manusia meningkat,” melalui pembangunan manusia dan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi.

B. Kreativitas Ilmiah dan Inovasi

Kreativitas adalah karakter seseorang yang mampu memunculkan ide-ide baru, alternatif, Solusi dan kemungkinan-kemungkinan dengan cara yang unik dan berbeda. Kreativitas adalah kemampuan untuk menyusun konsep sesuatu yang tidak bisa diprediksi, original dan unik. Kreativitas berbeda dengan kreativitas ilmiah

Kreativitas ilmiah adalah sejumlah kemampuan yang khusus terkait kemampuan intelektual, yang sangat tergantung pada tingkat pengetahuan dan keterampilan ilmiah yang dimiliki seseorang. Kreativitas ilmiah sangat penting untuk menumbuhkan budaya inovasi, terbukti dalam kurun waktu 20 tahun dari 2002 sampai 2022 terdapat 254 artikel dalam databased scopus.

Inovasi adalah sebuah penerapan dari ide-ide baru yang memberikan nilai lebih yang berguna bagi masyarakat, negara dan bangsa. Bentuk inovasi dapat berupa teknologi baru, produk baru, metode yang baru atau memberikan nilai tambah dari produk yang sudah ada.

Inovasi sangat tergantung pada kreativitas ilmiah, yaitu pembentukan ide-ide baru, kemungkinan-

kemungkinan baru, sesuatu yang baru yang efektif yang dibutuhkan masyarakat yang dihasilkan dari kemampun berpikir kreatif dan imajinatif dan sangat tergantung penguasaan keilmuannya. Proses kreativitas adalah imaginative, proses inovasi adalah produktif. Inovasi berperan menindaklanjuti ide-ide baru menjadi sebuah produk yang memberikan nilai positif.

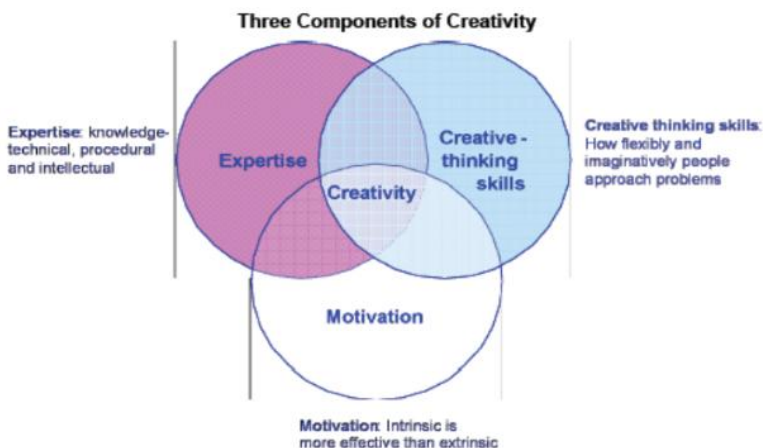
Hasil penelitian menunjukkan “Siswa yang dibekali dengan kreativitas ilmiah lebih siap untuk memanfaatkan perubahan ini, berpikir kritis, dan mengusulkan solusi inovatif untuk masalah yang muncul (Chaka, 2020; de Vries & Lubart, 2019).” Oleh karena itu untuk menumbuhkan kemampuan berinovasi, maka sangat penting membekali mahasiswa dan siswa dengan kreativitas ilmiah khususnya yang terkait dengan pemanfaatan ilmu pendidikan fisika, dan ilmu fisika.

C. Kreativitas Ilmiah dan Literasi Sains Fisika

Kreativitas ilmiah merupakan sejumlah kemampuan yang khusus terkait kemampuan intelektual, yang sangat tergantung pada tingkat pengetahuan dan keterampilan ilmiah yang dimiliki seseorang.

Dikaitkan dengan pembelajaran fisika, maka kreativitas ilmiah memerlukan penguasaan fisika (*Expertise*) yaitu memiliki literasi sains fisika yang baik. pengetahuan fakta, konsep, prosedur dan kompetensi sains fisika. Literasi sains merupakan kapasitas untuk menggunakan pengetahuan ilmiah untuk sampai pada kompetensi sains: 1) menjelaskan fenomena secara ilmiah; 2) mengonstruksi dan mengevaluasi desain-desain untuk penyelidikan ilmiah serta menginterpretasikan data dan bukti ilmiah secara kritis, 3) Meneliti, mengevaluasi, dan menggunakan informasi ilmiah untuk pengambilan keputusan dan Tindakan. Pengetahuan ilmiah yang dimaksud adalah pengetahuan konten, prosedur dan epistemic. Faktor lain yang berpengaruh pada

kompetensi ini adalah kesadaran akan adanya masalah dan mau melibatkan diri dalam penyelesaian masalah (OECD, 2023).



Gambar 1 Tiga Komponen Kreativitas (Amabile, 2012)
Berdasarkan teori pada Gambar 1, kreativitas membutuhkan *Expertise*, *Creative Thinking Skills* dan *Motivation*.

Creative Thinking Skills dan Motivation yang dimaksud adalah menguasai teknik berpikir kreatif, diantaranya adalah *attribute listing*, *scramble*, *ask question*, berpikir terbalik, *brainstorming* dan *mind map*. *Motivation* yang dimaksud adalah motivasi intrinsik yang berasal dari dirinya sendiri. Oleh karena itu untuk menghasilkan kreativitas khususnya pada bidang keilmuan tertentu atau kreativitas ilmiah, maka perlu penguatan literasi sains fisika, keterampilan berpikir kreatif dan motivasi intrinsik.

D. Pembelajaran Kreativitas Ilmiah, Literasi Sains Fisika dan Inovasi

Teori kreativitas ilmiah yang banyak digunakan menjadi acuan sampai saat ini adalah dari Hu & Adey, (2002) yang memperkenalkan model struktur kreativitas ilmiah yaitu *Scientific Creativity Structure Model (SCSM)*. Menurut teori ini, seseorang yang memiliki kreativitas ilmiah yang baik dapat dilihat dari 7 indikator, yang bisa dikategorikan dalam 3 kategori, yaitu *creative person*, *creative process* dan *creative product*.

Pembelajaran kreativitas ilmiah akan melatih siswa memiliki: 1) karakter *creative person*, yaitu menunjukkan ciri-ciri, yaitu jika diberikan pertanyaan, selalu memberikan banyak jawaban (*fluency*), dari berbagai sudut pandang (*flexibility*) dan jawabannya jarang terpikirkan oleh orang kebanyakan (*originality*); 2) karakter *creative process*, yaitu menunjukkan kemampuan berpikir kreatif dan imajinatif; 3) karakter *creative product*, yaitu orang tersebut menunjukkan kemampuan: 1) kreatif menemukan atau merumuskan berbagai masalah, 2) kreatif menentukan berbagai alternatif solusi penyelesaian masalah, 3) kreatif mengembangkan ilmu dengan mengajukan berbagai pertanyaan ilmiah dan 4) kreatif memodifikasi memberikan nilai tambah dari suatu produk.

Integrasi kreativitas dengan pembelajaran fisika, untuk menumbuhkan budaya inovasi memiliki tujuan melatih kreativitas ilmiah melalui pembelajaran literasi sains fisika, yaitu 1) kreatif dalam menjelaskan fenomena secara ilmiah; 2) kreatif dalam mengonstruksi dan mengevaluasi desain-desain untuk penyelidikan ilmiah serta menginterpretasikan data dan bukti ilmiah secara kritis, 3) kreatif dalam meneliti, mengevaluasi, dan menggunakan informasi ilmiah untuk pengambilan keputusan dan Tindakan, dengan memanfaatkan penguasaan konten dan prosedur sains fisika. Untuk menumbuhkan budaya inovasi, maka menggunakan tema-tema pemanfaatan fisika dalam berbagai bidang, contohnya fisika terkait bidang pangan, bidang energi, bidang maritim, bidang

kesehatan dan lainnya yang mendukung program Indonesia Emas 2045.

E. Tantangan dan Strategi Implementasi

Faktor yang sangat berpengaruh dalam pembelajaran adalah guru, terutama guru fisika, karena guru yang akan langsung mengajarkan kreativitas ilmiah dan literasi sains fisika di kelas. Pentingnya guru menguasai kreativitas ilmiah, ditunjukkan dengan banyaknya publikasi berbagai cara untuk meningkatkan kreativitas ilmiah guru diantaranya; Liu et al. (2021), Hong & Song (2020), Soh (2017) [, dan Bereczki & Karpati (2018). Tantangan yang dihadapi saat ini adalah: 1) konsep kreativitas ilmiah belum familiar bagi guru di sekolah, 2) tujuan pembelajaran fisika sebagian besar masih pada tingkat penguasaan konsep, sedikit pengetahuan prosedur dan 3) pembelajaran yang menumbuhkan inovasi belum menjadi topik dalam pembelajaran fisika. Berdasarkan tantangan ini, maka perlu strategi agar pembelajaran ini dapat diimplementasikan.

Strategi yang layak untuk diimplementasikan adalah: 1) memahami dan melatih pembelajaran kreativitas ilmiah dan literasi sains fisika ke guru atau calon guru fisika, 2) mengembangkan tema pembelajaran fisika yang terkait inovasi, contohnya, fisika pangan, fisika energi, fisika lingkungan (Zulkarnaen, 2023), fisika maritim dan lain-lain. 3) menemukan dan mengujicobakan berbagai strategi, model atau metode yang efektif dan praktis untuk diterapkan melalui penelitian dan mendesiminasikannya melalui pengabdian kepada Masyarakat (Zulkarnaen, 2022).

F. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas, maka disimpulkan:

1) Integrasi kreativitas ilmiah dalam pembelajaran

fisika sangat penting untuk menumbuhkan budaya inovasi. 2). Implementasinya memerlukan penguatan tujuan pembelajaran fisika sampai level literate yaitu mampu memanfaatkan fisika untuk penyelesaian masalah, 3). Sejalan dengan pencapaian visi Indonesia emas 2045, maka dalam pembelajaran fisika perlu mengintegrasikan konten, kontek dan isue yang terkait dengan inovasi pada bidang pangan, energi; kesehatan; transportasi; produk rekayasa keteknikan; pertahanan dan keamanan; kemaritiman; sosial humaniora.



DAFTAR PUSTAKA

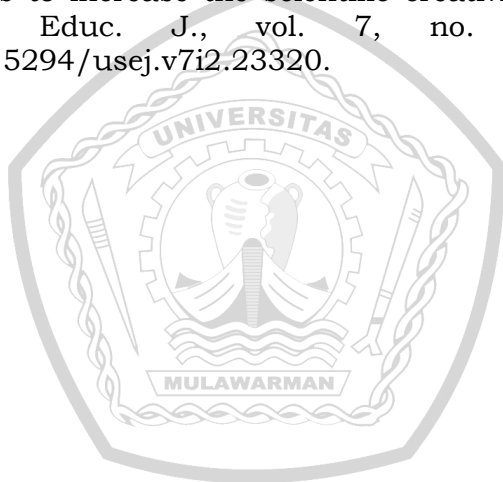
- Amabile, T.M., (2012), Componential theory of creativity.
- Bereczki, E. O., and A. Kárpáti, A., (2017), Teachers' beliefs about creativity and its nurture: A systematic review of the recent research literature, *Educ. Res. Rev.*, vol. 23, pp. 25–56, doi: 10.1016/j.edurev.2017.10.003.
- Chaka, C., (2020), Skills, competencies and literacies attributed to 4IR/Industry 4.0: Scoping review, *IFLA J.*, vol. 46, no. 4, pp. 369–399, doi: 10.1177/0340035219896376.
- Cropley, A., (2018), The creativity-facilitating teacher index: Early thinking, and some recent reflections, in *Creativity Fostering Teacher Behavior*, World Scientific, pp. 1–15. doi: 10.1142/9789813234161_0001.
- de Vries, H.B., and Lubart, T.I., (2019), Scientific creativity: Divergent and convergent thinking and the impact of culture, *J. Creat. Behav.*, vol. 53, no. 2, pp. 145–155, doi: 10.1002/jocb.184.
- Hong, O., and Song, J., (2020), A componential model of science classroom creativity (SCC) for understanding collective creativity in the science classroom, *Think. Ski. Creat.*, vol. 37, p. 100698, doi: 10.1016/j.tsc.2020.100698.
- Hu & Adey, (2002), A scientific creativity test for secondary school students. *International Journal of Science Education*, Vol. 24, No. 4, 389-403.
- Julfitri, Efwinda, S., and Zulkarnaen, (2020), The C3PDR learning model to increase conceptual understanding and creative thinking skills of senior high school students, *Berk. Ilm. Pendidik. Fis.*, vol. 8, no. 3, p. 170, doi: 10.20527/bipf.v8i3.9113.
- Liu, H. Y., (2020), Factors affecting nursing students' creativity in Taiwan: Exploring the moderating

- role of creative personality, *Nurse Educ. Today*, vol. 88, p. 104367, doi: 10.1016/j.nedt.2020.104367.
- Liu, T., Yu, X., Liu, M., Wang, M., Zhu, X., and Yang, X., (2021), A mixed method evaluation of an integrated course in improving critical thinking and creative self-efficacy among nursing students, *Nurse Educ. Today*, vol. 106, p. 105067, doi: 10.1016/j.nedt.2021.105067.
- OECD, (2023), PISA 2025 Science Framework
- Soh, K., (2017), Fostering student creativity through teacher behaviors,” *Think. Ski. Creat.*, vol. 23, pp. 58–66, doi: 10.1016/j.tsc.2016.11.002.
- Tu, J.C., Lo, T.Y., and Zhang, X.T., (2023), Applying the ATDE-based model of teaching creativity to improvement of students’ learning in a design practice course, *Think. Ski. Creat.*, vol. 48, p. 101293, doi: 10.1016/j.tsc.2023.101293
- Tang, C., Mao, S., Naumann, S. E., and Xing, Z., (2022), Improving student creativity through digital technology products: A literature review, *Think. Ski. Creat.*, vol. 44, p. 101032, doi: 10.1016/j.tsc.2022.101032.
- World Economic Forum, (2020), The Future of Jobs Report 2020, *Futur. Jobs Rep.*, no. October, p. 1163, 2020, [Online]. Available: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/digest>.
- Zulkarnen, Sulaeman, N.F., Nuryadin, A., (2023), Behavior toward energy: An exploration of high school students’ perspective in Indonesia, *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*. doi: <http://doi.org/10.11591/ijere.v12i1.23600>
- Zulkarnaen, Supardi, Z. I., and Jatmiko, B., (2017), Feasibility of creative exploration, creative elaboration, creative modeling, practice scientific creativity, discussion, reflection (C3PDR) teaching model to improve students’ scientific creativity of

junior high school, J. Balt. Sci. Educ., vol. 16, no. 6, pp. 1020–1034, doi: 10.33225/jbse/17.16.1020.

Zulkarnaen, Suhirman, Hidayat, S., Prayogi, S., Sarnita, F., Widia, Fathurrahmaniah, Fauzi, A., Lisda, Ramdhani, Verawati, N. N. S. P., (2022), Effect of problem based learning model on students' creative thinking ability, J. Penelit. Pendidik. IPA, vol. 8, no. 1, pp. 379–382, doi: 10.29303/jppipa.v8i1.1307.

Zulkarnaen, Supardi, Z. I., and Jatmiko, B, (2018) The role of knowledge mastery and science process skills to increase the scientific creativity, Unnes Sci. Educ. J., vol. 7, no. 2, doi: 10.15294/usej.v7i2.23320.



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, syukur kami panjatkan kepada Allah Subhanallahu Taala atas Pencapaian Guru Besar. Pencapaian Guru Besar ini, saya persembahkan:

1. Keluarga kecil kami, Istri: Kasmawati, S.Pd, Anak-anak: dr. Kania Alawiyah, S.Ked, Wildan Hanif, ST, MS dan Fariz Achmad Firdaus.
2. Keluarga besar kami, Bapak Almarhum H. Asin Ripin dan Umak kami Almarhuma Rohaya, Bapak mertua Almarhum H. Syamsuddin Sarra dan ibu mertua Hj. Nurba serta kakak adik kami serta keponakan

Kami ucapkan terima kasih kepada:

Menteri Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi, Rektor Universitas Mulawarman, Ketua Senat dan seluruh anggota senat Universitas, Tim penilai GB, Dekan FKIP, Ketua Senat FKIP dan seluruh anggotanya, Ketua LP2M dan LP3M beserta jajarannya, Teman-teman tendik di Rektorat dan di FKIP, keluarga besar Unmul khususnya FKIP, terkhusus rekan-rekan dosen dan mahasiswa Pendidikan fisika.

CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Dr. Zulkarnaen, M.Si
NIP : 196712241991021001
NIDN : 0024126705
Tempat, Tanggal
Lahir : Belitung, 24 Desember 1967
Agama : Islam
Email : zulkarnaen@fkip.unmul.ac.id
zul67belitung@gmail.com
No HP : 081348212314
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Pangkat, Gol. : Pembina, IVa
Jabfung, TMT : Guru Besar, 1 September 2024
TMT Golongan : 1 Oktober 2007
ID SINTA : 6032582
ID SCOPUS : 57200108434

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) Pendidikan Fisika, IKIP Bandung (sekarang UPI), lulus 1990.
2. Magister (S2) Ilmu Fisika, Universitas Gadjah Mada (UGM), lulus 1996.
3. Doktor (S3) Pendidikan Sains, Universitas Negeri Surabaya (UNESA), lulus 2017.

RIWAYAT PENELITIAN

1. Zulkarnen, Sulaeman, N.F., Nuryadin, A., (2023), Behavior toward energy: An exploration of high school students' perspective in Indonesia, International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE). doi: <http://doi.org/10.11591/ijere.v12i1.23600>.
2. Zulkarnaen, Supardi, Z. I., and Jatmiko, B., (2017), Feasibility of creative exploration, creative

- elaboration, creative modeling, practice scientific creativity, discussion, reflection (C3PDR) teaching model to improve students' scientific creativity of junior high school, *J. Balt. Sci. Educ.*, vol. 16, no. 6, pp. 1020–1034, doi: 10.33225/jbse/17.16.1020.
3. Zulkarnaen, Suhirman, Hidayat, S., Prayogi, S., Sarnita, F., Widia, Fathurrahmaniah, Fauzi, A., Lisda, Ramdhani, Verawati, N. N. S. P., (2022), Effect of problem based learning model on students' creative thinking ability, *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 8, no. 1, pp. 379–382, doi: 10.29303/jppipa.v8i1.1307.
 4. Zulkarnaen, Supardi, Z. I., and Jatmiko, B, (2018) The role of knowledge mastery and science process skills to increase the scientific creativity, *Unnes Sci. Educ. J.*, vol. 7, no. 2, doi: 10.15294/usej.v7i2.23320.
 5. Julfitri, Efwinda, S., and Zulkarnaen, (2020), The C3PDR learning model to increase conceptual understanding and creative thinking skills of senior high school students, *Berk. Ilm. Pendidik. Fis.*, vol. 8, no. 3, p. 170, doi: 10.20527/bipf.v8i3.9113.
 6. Zulkarnaen, Shelly Efwinda, Nurul Fitriyah Sulaeman. TPACK Implementation on Energy Topic: Reading Comprehension and Feasibility of Teaching Material, *Jurnal: FORMATIF: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA. (SINTA 2) Volume 13 No. 1 Tahun 2023. ISSN 2502-5457. doi: <http://dx.doi.org/10.30998/formatif.v13i1>*.14161.
 7. Zulkarnaen & Laili Komariyah, (2014), Analisis kemampuan berpikir kreatif eksplorasi divergen verbal sebagai dasar penentuan level dasar skala instrument penilaian berpikir kreatif dalam ekspresi membuat deskripsi kreatif materi gaya listrik, *Jurnal Pendidikan Masyarakat Volume 11, Nomor 4, Agustus 2014. ISSN 1978-7952, Penerbit: Universitas Mulawarman.*
 8. Zulkarnaen, (2013), Tingkat berpikir kreatif mahasiswa Pendidikan fisika FKIP Universitas

- Mulawarman pada materi listrik, Jurnal Cerdas Kreatif, Volume 8 Nomor 3, Mei 2013, ISSN 19797915, Universitas Mulawarman.
9. Zulkarnaen, Laili Komariyah, (2013), Penentuan Tugas Proyek dan karakteristiknya Yang Mendukung Pencapaian Kompetensi Pada Mata Kuliah Listrik Magnet melalui Model Project Based Learning, Jurnal Pembelajaran Sains, Volume 11 Nomor 6, Desember 2013 ISSN 1978-2616. Universitas Mulawarman.
 10. Zulkarnaen, (2012), Peta kompetensi Profesional guru IPA Fisika SMP dan Guru fisika SMA di Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2011, Jurnal Pembelajaran Sains, Volume 10 Nomor 4, Desember 2012, ISSN 1978-2616 Universitas Mulawarman.
 11. Zulkarnen, Riskan Qadar, (2011), Pembelajaran konstruktivis pada kompetensi dasar Mendeskripsikan Gejala dan Ciri-Ciri Gelombang secara umum. Jurnal Pembelajaran Sains Volume 9 Nomor 1, Februari 2011. ISSN 19782616. Universitas Mulawarman.
 12. Zulkarnaen, (2010), Pengembangan model dan perangkat pembelajaran konstruktivis pada kompetensi dasar, Menganalisis Pengaruh Gaya pada Sifat Elastisitas Bahan, Jurnal Pendidikan Masyarakat, Volume 7 Nomor 1, Agustus 2010. ISSN 1978-7952. Universitas Mulawarman.
 13. Zulkarnaen, Heksa Cahyani, Fitri Andayani, (2009), Peningkatan hasil belajar dan Tingkat retensi melalui pembelajaran terpadu dengan pendekatan konstruktivis di SMA Negeri 14 Samarinda, Didaktika, Jurnal Pendidikan, Pengembangan Kurikulum dan Teknologi Pembelajaran. Volume 10, Nomor 2, Mei 2009, ISSN 14113384. Universitas Mulawarman.
 14. Zulkarnaen, (2010), Studi salah konsep pada konsep posisi, kecepatan dan percepatan, Cerdas Kreatif, Jurnal Pengembangan Metode

Pembelajaran, Vol 5, No. 3, Desember 2010V. ISSN
1979-7915, Universitas Mulawarman.

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. Ketua penyelenggara sekaligus narasumber Pendidikan dan pelatihan calon kepala laboratorium IPA (biologi, fisika, kimia) tahun 2015, 2016 dan 2017.
2. Desiminasi pembelajaran praktikum untuk meningkatkan efektivitas dan efisien waktu pencapaian hasil belajar pada materi pengukuran dasar dan kalor di SMA Negeri 13 Samarinda dan guru-guru SMA yang tergabung dalam MGMP mata Pelajaran fisika Kota Samarinda, Tahun 2024
3. Asesor BAN PT 2019 s.d 2024 dan Asesor LAM Kependidikan sejak tahun 2022.

RIWAYAT JABATAN

1. Kepala Lab Pendidikan Fisika 1998 – 2000 dan 2010 - 2016
2. Ketua Program Studi Pendidikan Fisika 2000 – 2002
3. Sekretaris GJMF 2011 – 2013 dan 2015 - 2017
4. Ketua GJMF 2013 – 2015 dan 2017 - 2019
5. Ketua senat FKIP 2018 – 2019
6. Wakil Dekan Bidang Akademik 2019 – 2023
7. Anggota Senat Universitas 2023 - 2028
8. Ketua Lab Pendidikan Fisika 2023 - 2027

RIWAYAT ORGANISASI

1. Anggota Asosiasi Lesson Study Indonesia (ALSI)
2. Ketua Perkumpulan Pendidik IPA Indonesia (PPII) wilayah Kalimantan Timur, Periode 2024-2028.



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Ir. Sopialena, M.P., Ph.D.

PERAN JAMUR ENDOFIT UNTUK PENGENDALIAN
PENYAKIT TUMBUHAN DALAM KONTEKS
PERTANIAN ORGANIK

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR

Orasi Ilmiah Guru Besar

UNIVERSITAS MULAWARMAN



Prof. Ir. Sopialena, M.P., Ph.D.

GURU BESAR

Bidang Ilmu Pengendalian Hayati Terhadap Penyakit Tumbuhan
FAKULTAS PERTANIAN

Prof. Ir. Sopialena, M.P., Ph.D.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan	3
B. Tinjauan Pustaka	5
C. Hasil Penelitian.....	11
1. Trichoderma	11
2. Penicillium.....	12
3. Paecilomyces	13
4. Aspergillus niger	13
5. Rhizopus	14
D. Pengujian Efikasi Jamur Endofit	16
E. Peningkatan Ketahanan Tanaman	18
F. Hasil Aplikasi di Lapangan	19
G. Diskusi.....	21
1. Perbandingan dengan Studi Lain	21
2. Manfaat Jamur Endofit untuk Pertanian Organik	22
3. Tantangan Implementasi.....	23
H. Kesimpulan	24
DAFTAR PUSTAKA.....	26
UCAPAN TERIMA KASIH	29
CURRICULUM VITAE	31

SINOPSIS

Pertanian organik kini dianggap sebagai solusi utama dalam menghadapi tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan penurunan keanekaragaman hayati. Fokus utama pertanian organik adalah mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis dan beralih ke praktik yang ramah lingkungan. Pendekatan ini tidak hanya mendukung ekosistem dan meningkatkan kesehatan tanah, tetapi juga memastikan pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan. Namun, di Kalimantan Timur, salah satu tantangan terbesar dalam pertanian organik adalah pengendalian penyakit, terutama penyakit blast (*Magnaporthe oryzae*), yang lebih intens pada lahan organik. Penelitian menunjukkan bahwa intensitas serangan mencapai 40–65%, menjadikan pengendalian hayati sebagai alternatif yang menjanjikan.

Jamur endofit seperti *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. terbukti efektif menghambat pertumbuhan patogen, dengan pengendalian mencapai 78%. Selain itu, PGPR seperti *Bacillus subtilis* dapat mengurangi penyakit akar gada hingga 60%. Pengendalian hayati ini memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan pestisida kimia. Jamur endofit juga berperan penting dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan stres nutrisi, yang semakin relevan di tengah perubahan iklim. Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa jamur seperti *Paecilomyces* sp. dan *Penicillium* sp. mampu mengendalikan patogen *Fusarium* hingga 60%, serta meningkatkan hasil panen hingga 15%. Dengan demikian, pendekatan pengendalian hayati berbasis jamur endofit tidak hanya efektif mengurangi serangan patogen, tetapi juga mendukung pertanian yang lebih adaptif dan berkelanjutan, menjadikannya solusi

penting untuk masa depan pertanian organic berkelanjutan.

Kata Kunci: Pertanian organic, Pengendalian Hayati, Jamur endofit, Pengendalian penyakit, dan Keberlanjutan.



A. Pendahuluan

Pertanian organik dianggap sebagai solusi penting untuk keberlanjutan, terutama dalam menghadapi tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan penurunan keanekaragaman hayati. Fokus utama pertanian organik adalah praktik ramah lingkungan, dengan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintesis dan menggantinya dengan pendekatan alami yang mendukung ekosistem. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan kesehatan tanah, menjaga keseimbangan ekosistem, dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang memperburuk perubahan iklim, serta memastikan pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan.

Di Kalimantan Timur, tantangan utama dalam pertanian organik adalah pengendalian penyakit tanpa pestisida kimia. Penyakit blast (*Magnaporthe oryzae*) memiliki intensitas serangan yang lebih tinggi pada lahan organik (40–65%) dibandingkan lahan konvensional (25–40%) (Sopialena et al., 2020). Untuk mengatasi hal ini, pengendalian hayati, termasuk penggunaan cendawan endofit seperti *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp., terbukti efektif dalam menghambat pertumbuhan *P. oryzae* hingga 78,08–78,96% (Sopialena et al., 2019). Penggunaan PGPR seperti *Bacillus subtilis* juga berhasil mengurangi penyakit akar gada hingga 60% (Fitriani et al., 2019), menawarkan alternatif berkelanjutan dibandingkan pestisida kimia yang merusak lingkungan.

Pengendalian penyakit yang efektif sangat penting di tengah perubahan iklim yang meningkatkan intensitas patogen. Pada tahun 2009, penyakit blast menyerang 148,2 hektar lahan padi di Kalimantan Timur (Dinas Pertanian, 2009). Jamur endofit seperti *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. berperan penting dalam mengendalikan patogen tersebut, serta meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan dan stres nutrisi. Penelitian menunjukkan bahwa

jamur endofit dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap tekanan lingkungan, mendukung pertanian organik yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Jamur endofit menawarkan solusi pengendalian hayati yang lebih berkelanjutan daripada pestisida kimia, yang menimbulkan dampak negatif pada ekosistem dan kesehatan manusia. Penggunaan pestisida kimia global mencapai 4,1 juta ton per tahun, dengan dampak lingkungan yang serius (Pesticide Action Network, 2017). Sebaliknya, jamur endofit meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen tanpa merusak lingkungan. Penelitian Sopialena (2022) menunjukkan bahwa isolasi jamur endofit dari padi mampu menurunkan serangan patogen hingga 65%.

Penelitian lebih lanjut oleh Sopialena (2023) mengungkapkan bahwa aplikasi *Paecilomyces* sp. dan *Penicillium* sp. pada tanaman hortikultura dapat menurunkan infeksi *Fusarium* hingga 60%, serta meningkatkan hasil panen sebesar 15%. Selain itu, jamur endofit dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan, seperti kekeringan, yang semakin penting di tengah perubahan iklim. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan jamur endofit efektif dalam mengendalikan penyakit dan meningkatkan produktivitas pertanian tanpa merusak lingkungan.

Makalah ini bertujuan untuk menunjukkan potensi jamur endofit dalam pengendalian penyakit tanaman dalam sistem pertanian organik. Penelitian Sopialena dkk. mengungkapkan bahwa penggunaan jamur endofit seperti *Trichoderma*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Aspergillus niger*, dan *Rhizopus* mampu mengurangi serangan patogen secara signifikan dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan. Pendekatan pengendalian hayati berbasis jamur endofit dapat berkontribusi pada keberlanjutan pertanian di masa depan, menjadi solusi praktis untuk

menghadapi tantangan penyakit tanaman yang semakin kompleks akibat perubahan iklim.

B. Tinjauan Pustaka

Jamur endofit adalah mikroorganisme yang hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menyebabkan kerusakan atau gejala penyakit pada inangnya. Mereka biasanya ditemukan di akar, batang, dan daun tanaman, serta membentuk hubungan simbiosis dengan inang mereka. Hubungan ini menguntungkan, karena jamur endofit dapat menghasilkan senyawa bioaktif yang melindungi tanaman dari serangan patogen, sambil memperoleh nutrisi dari tanaman inang (Yulianti, 2013). Menurut penelitian oleh Rodriguez et al. (2009), sekitar 80% tanaman darat memiliki hubungan simbiosis dengan jamur endofit, yang menunjukkan pentingnya peran mereka dalam ekosistem tanaman. Jamur ini berperan penting dalam menjaga kesehatan tanaman, terutama dalam sistem pertanian organik, di mana penggunaan bahan kimia sintetis dibatasi.

Salah satu fungsi utama jamur endofit adalah meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen melalui berbagai mekanisme. Misalnya, mereka dapat memproduksi senyawa antimikroba yang menghambat pertumbuhan patogen, kompetisi dengan patogen untuk ruang dan nutrisi, serta merangsang sistem ketahanan tanaman. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Strobel et al. (2014), ditemukan bahwa jamur endofit yang diisolasi dari pohon *Taxus* menghasilkan senyawa paclitaxel, yang memiliki sifat antimikroba dan berpotensi digunakan sebagai agen pengendalian hayati. Sopialena (2022) juga menemukan bahwa aplikasi jamur endofit *Trichoderma* sp. pada tanaman padi mengurangi infeksi *Rhizoctonia solani* sebesar 78%, membuktikan efektivitasnya sebagai pengendali hayati. Jamur endofit *Trichoderma* sp. memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan jamur

patogen pada tanaman padi. *Trichoderma* sp. menunjukkan pertumbuhan koloni yang cepat dan kerapatan spora yang tinggi dibandingkan dengan jamur patogen seperti *Rhizoctonia solani*. Selain itu, *Trichoderma* sp. juga mampu menghambat pertumbuhan jamur patogen lain seperti *Cercospora* sp. (Sopialena, 2021).

Selain melindungi tanaman dari patogen, jamur endofit juga dapat membantu meningkatkan adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan yang sulit, seperti kekeringan dan kekurangan nutrisi. Menurut Zhang et al. (2017), tanaman yang terinfeksi dengan jamur endofit menunjukkan peningkatan toleransi terhadap kekeringan hingga 20% lebih tinggi dibandingkan tanaman tanpa endofit. Hasil penelitian Sopialena (2023) menunjukkan bahwa isolat *Aspergillus niger* yang diambil dari tanaman padi mampu meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan hingga 30%, dengan hasil panen yang lebih tinggi sebesar 15%. Data ini memperlihatkan bagaimana jamur endofit tidak hanya membantu mengendalikan penyakit tetapi juga berperan dalam meningkatkan produktivitas dan ketahanan tanaman di bawah kondisi lingkungan yang menantang.

Dengan kemampuan mereka untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen dan stres lingkungan, jamur endofit menjadi komponen penting dalam sistem pertanian organik. Penggunaan jamur ini membantu petani mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan memperkuat daya adaptasi tanaman. Menurut FAO (2020), pertanian organik telah meningkat hingga 71,5 juta hektar di seluruh dunia, dengan banyak petani yang beralih ke metode pengendalian hayati, termasuk penggunaan jamur endofit. Dengan demikian, jamur endofit menjadi salah satu solusi yang menjanjikan untuk menjaga keberlanjutan pertanian dan mengatasi tantangan perubahan iklim serta peningkatan permintaan pangan global.

Jamur endofit memiliki berbagai mekanisme dalam pengendalian penyakit tanaman, salah satu yang utama adalah kompetisi ruang dan nutrisi. Endofit secara alami berada di dalam jaringan tanaman, seperti akar, batang, atau daun, di mana mereka menempati ruang yang seharusnya digunakan oleh patogen untuk menginfeksi tanaman. Dengan menduduki tempat ini terlebih dahulu, jamur endofit dapat menghalangi patogen dari mendapatkan akses ke jaringan tanaman yang sehat. Selain itu, mereka juga bersaing dengan patogen dalam hal sumber nutrisi, sehingga membatasi pertumbuhan dan penyebaran patogen di tanaman. Menurut penelitian oleh Ghimire et al. (2009), kompetisi ruang yang terjadi antara jamur *Trichoderma* sp. dengan patogen *Fusarium oxysporum* pada tanaman tomat menunjukkan bahwa infeksi oleh patogen dapat dikurangi hingga 60% ketika tanaman sudah terkolonisasi oleh jamur endofit.

Selain kompetisi ruang, jamur endofit juga menghasilkan senyawa antimikroba yang dapat secara langsung menghambat atau membunuh patogen. Senyawa ini bisa berupa enzim, toksin, atau metabolit sekunder yang bersifat fungisida atau bakterisida. Contohnya, *Trichoderma* sp., salah satu jamur endofit yang paling sering diteliti, mampu memproduksi enzim seperti chitinase dan glucanase yang dapat merusak dinding sel patogen (Satyavani, 2009). Dalam studi oleh Harman et al. (2006), ditemukan bahwa *Trichoderma* sp. mampu menghasilkan senyawa gliotoxin yang efektif dalam membunuh *Rhizoctonia solani*, patogen penyebab penyakit busuk akar pada berbagai tanaman. Sopialena (2022) juga melaporkan bahwa aplikasi jamur *Penicillium* sp. pada tanaman padi dapat menurunkan tingkat serangan *Fusarium wilt* sebesar 70% berkat produksi senyawa antimikroba oleh jamur tersebut.

Mekanisme lain yang signifikan adalah induksi resistensi sistemik (ISR), di mana jamur endofit

merangsang sistem ketahanan alami tanaman untuk melawan serangan patogen. Ketika jamur endofit mengkolonisasi jaringan tanaman, mereka mengaktifkan berbagai jalur sinyal di dalam tanaman yang memicu peningkatan ekspresi gen-gen ketahanan. Hal ini membuat tanaman lebih siap menghadapi serangan patogen di masa depan. ISR mirip dengan konsep vaksinasi pada manusia, di mana tanaman diingatkan untuk mengaktifkan mekanisme pertahanan yang lebih cepat dan lebih kuat ketika diserang oleh patogen. Menurut penelitian oleh Pieterse et al. (2014), *Trichoderma* sp. yang menginduksi resistensi pada tanaman tomat meningkatkan ketahanan terhadap penyakit *Botrytis cinerea* hingga 40%. Sopialena (2023) juga menemukan bahwa aplikasi jamur *Aspergillus niger* pada tanaman padi meningkatkan ketahanan terhadap serangan *Cercospora* dengan menstimulasi jalur ISR, sehingga tanaman menjadi lebih tahan terhadap infeksi.

Selain induksi resistensi, beberapa jamur endofit juga memproduksi enzim yang mampu menghancurkan dinding sel patogen secara langsung. Hidrolytic enzymes seperti chitinase dan β -1,3-glucanase adalah contoh enzim yang diproduksi oleh jamur endofit untuk melawan patogen jamur. Enzim-enzim ini merusak komponen dinding sel patogen, seperti kitin dan glukukan, yang merupakan bahan penyusun utama dinding sel jamur patogen. Studi oleh Harman et al. (2006) menunjukkan bahwa produksi enzim-enzim ini oleh jamur endofit dapat secara signifikan mengurangi populasi patogen di jaringan tanaman. Sopialena (2022) juga mencatat bahwa isolat jamur *Trichoderma* sp. yang diaplikasikan pada tanaman hortikultura menghasilkan peningkatan ketahanan tanaman terhadap infeksi *Rhizoctonia solani* hingga 78% melalui mekanisme penghancuran dinding sel patogen.

Secara keseluruhan, jamur endofit memberikan berbagai mekanisme pengendalian yang efektif dan

ramah lingkungan untuk melindungi tanaman dari serangan patogen. Dengan mengkombinasikan kompetisi ruang, produksi senyawa antimikroba, induksi resistensi sistemik, dan enzim penghancur dinding sel, jamur endofit mampu meningkatkan kesehatan tanaman dan menjaga produktivitas pertanian organik. Oleh karena itu, pengendalian penyakit berbasis jamur endofit menjadi pendekatan yang berpotensi besar untuk diterapkan secara luas dalam sistem pertanian berkelanjutan, terutama di era yang menghadapi tantangan global seperti perubahan iklim dan peningkatan permintaan pangan.

Jamur endofit sangat relevan untuk digunakan dalam sistem pertanian organik karena mereka sejalan dengan prinsip-prinsip keberlanjutan dan ramah lingkungan. Pertanian organik bertujuan untuk mengurangi atau sepenuhnya menghilangkan penggunaan bahan kimia sintetis, seperti pestisida dan pupuk, yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Jamur endofit, yang berperan sebagai agen pengendali hayati, menawarkan alternatif yang efektif untuk pestisida kimia dalam mengendalikan patogen tanaman. Menurut studi oleh Altieri (2018), pertanian organik telah tumbuh hingga mencakup 71,5 juta hektar lahan di seluruh dunia, dengan permintaan akan metode pengendalian hayati yang terus meningkat karena konsumen dan petani semakin mencari solusi yang lebih aman dan ramah lingkungan.

Jamur endofit berfungsi secara alami dalam ekosistem tanaman, bekerja dalam kerangka keberlanjutan yang tidak hanya melindungi tanaman dari penyakit, tetapi juga mendukung kesehatan tanah dan biodiversitas. Mereka tidak mengganggu keseimbangan ekosistem atau menghasilkan polusi kimia seperti pestisida sintetis. Dalam studi oleh Dini-Andreote et al. (2016), jamur endofit terbukti memperkuat interaksi mikroorganisme tanah yang penting dalam siklus nutrisi, yang meningkatkan

produktivitas tanaman secara berkelanjutan. Sopialena (2022) juga melaporkan bahwa jamur endofit *Trichoderma* sp. meningkatkan hasil panen padi hingga 15% di sistem pertanian organik melalui pengendalian penyakit dan peningkatan kesehatan akar tanaman.

Selain kompatibel dengan prinsip keberlanjutan, jamur endofit juga mendukung praktik-praktik regeneratif dalam pertanian organik. Jamur ini membantu meningkatkan struktur tanah, memperbaiki siklus nutrisi, dan memperkuat tanaman terhadap berbagai tekanan biotik dan abiotik. Menurut FAO (2020), penggunaan agen hayati seperti jamur endofit mampu mengurangi penggunaan pestisida hingga 40%, yang secara langsung mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan ekosistem. Studi Sopialena (2023) menunjukkan bahwa aplikasi jamur endofit pada lahan pertanian organik dapat mengurangi kejadian penyakit *Fusarium wilt* sebesar 65%, serta mengurangi biaya pengendalian hama hingga 30%, yang sangat menguntungkan bagi petani kecil yang tergantung pada sistem pertanian organik.

Jamur endofit juga mendukung ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang semakin tidak menentu akibat perubahan iklim. Di era di mana perubahan cuaca ekstrem seperti kekeringan, banjir, dan suhu tinggi menjadi semakin umum, tanaman membutuhkan perlindungan yang lebih baik dari ancaman patogen dan stres lingkungan. Menurut Zhang et al. (2017), tanaman yang terkolonisasi oleh jamur endofit menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap kekeringan hingga 20% dibandingkan dengan tanaman tanpa endofit. Sopialena (2023) menemukan bahwa jamur endofit seperti *Aspergillus niger* tidak hanya mengurangi serangan penyakit, tetapi juga meningkatkan toleransi tanaman padi terhadap kekeringan, yang berpotensi meningkatkan hasil panen pada kondisi iklim yang lebih kering.

Secara keseluruhan, jamur endofit sangat relevan dan sesuai untuk digunakan dalam sistem pertanian organik karena mereka mendukung prinsip keberlanjutan, memperkuat ketahanan tanaman, dan membantu petani mengurangi ketergantungan pada input kimia sintetis. Selain itu, jamur endofit memungkinkan peningkatan produktivitas yang sejalan dengan kesehatan ekosistem dan keberlanjutan jangka panjang. Dengan meningkatnya tantangan global seperti perubahan iklim dan degradasi lahan, jamur endofit menjadi solusi penting dalam menjaga kelangsungan produksi pangan yang sehat dan berkelanjutan.

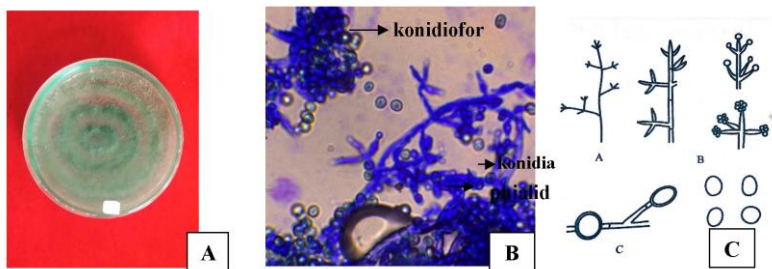
C. Hasil Penelitian

Penemuan dan identifikasi jamur endofit dari berbagai tanaman, khususnya dari tanaman padi, merupakan langkah penting dalam penelitian mikrobiologi pertanian, terutama dalam konteks pengendalian penyakit secara berkelanjutan. Jamur endofit tidak hanya berkontribusi terhadap kesehatan tanaman tetapi juga dapat berfungsi sebagai agen pengendalian hayati yang ramah lingkungan. Di Indonesia, terutama di Kalimantan Timur, berbagai spesies endofit telah diisolasi dan diidentifikasi, di antaranya *Trichoderma*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Aspergillus niger*, dan *Rhizopus*. Setiap spesies ini memiliki karakteristik dan mekanisme unik yang memungkinkan mereka untuk beradaptasi dan memberikan manfaat bagi tanaman.

1. Trichoderma

Trichoderma adalah genus jamur yang terkenal dalam penelitian sebagai agen pengendalian hayati. Di Kalimantan Timur, isolat *Trichoderma harzianum* telah diidentifikasi dari akar tanaman padi dan terbukti memiliki potensi yang signifikan dalam mengendalikan patogen, khususnya *Rhizoctonia solani* yang menyebabkan penyakit layu pada padi. Penelitian oleh

Sopialena (2022) menunjukkan bahwa aplikasi jamur ini dapat mengurangi insidensi penyakit hingga 75% dan meningkatkan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. *Trichoderma* bekerja melalui beberapa mekanisme, termasuk kompetisi untuk ruang dan nutrisi serta produksi senyawa antimikroba, yang menjadikannya pilihan ideal untuk pertanian organik.



Gambar 1. Koloni *Trichoderma* sp (A), Konidiofor, konidia dan phialid *Trichoderma* sp. (400x) (B), *Trichoderma* sp. Pada Buku Barnett and Hunter (C).

2. *Penicillium*

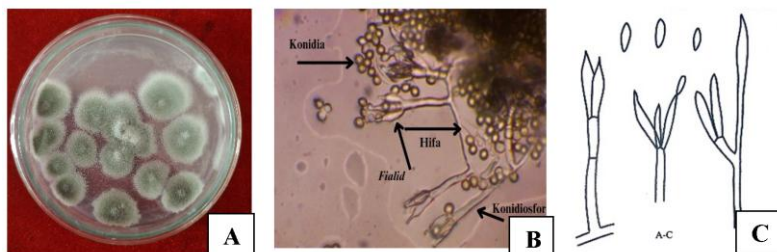
Jamur *Penicillium* juga telah teridentifikasi sebagai endofit dari tanaman padi di Indonesia. Salah satu spesies yang paling umum adalah *Penicillium chrysogenum*, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan antibiotik dan senyawa antimikroba. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat *Penicillium* sp. dapat menekan pertumbuhan patogen *Fusarium* yang sering menyerang tanaman padi.



Gambar 2. Koloni Jamur *Penicillium* (A), Konidia *Penicillium* (B), *Penicillium* Pada Buku Barnett and Hunter (C).

3. *Paecilomyces*

Paecilomyces adalah genus jamur yang juga diisolasi dari tanaman padi di Kalimantan Timur, dengan *Paecilomyces variotii* sebagai salah satu spesies yang diidentifikasi. Jamur ini memiliki kemampuan untuk bersaing dengan patogen dan menghasilkan senyawa antimikroba. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sopialena (2023), ditemukan bahwa isolat *Paecilomyces variotii* dapat menekan serangan penyakit *Fusarium wilt* pada padi dengan efisiensi mencapai 70%. Selain itu, *Paecilomyces* juga mampu meningkatkan pertumbuhan akar dan kesehatan tanaman secara keseluruhan, yang menjadikannya solusi yang berpotensi besar untuk pertanian organik di Indonesia.

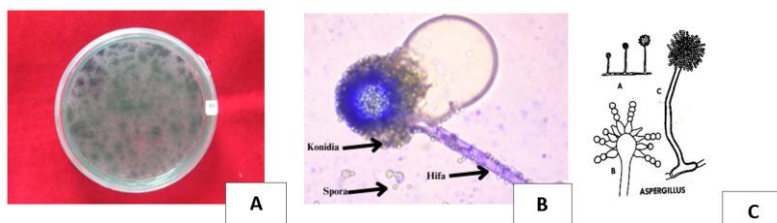


Gambar 3. Koloni jamur *Paecilomyces* sp. (A), Konidia *Paecilomyces* sp. (B), Pada Buku Barnett and Hunter (C).

4. *Aspergillus niger*

Aspergillus niger merupakan spesies jamur yang umum ditemukan di tanah dan sebagai endofit di berbagai tanaman, termasuk padi. Di Kalimantan Timur, isolat *Aspergillus niger* telah ditemukan di akar tanaman padi, dan penelitian menunjukkan bahwa jamur ini dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan dan serangan patogen. Sopialena (2023) melaporkan bahwa aplikasi isolat ini pada tanaman padi dapat meningkatkan hasil panen sebesar 15% dan mengurangi kejadian penyakit *Fusarium* dan *Rhizoctonia* hingga 65%. Karakteristik

unik *Aspergillus niger* termasuk kemampuannya untuk memproduksi asam organik yang dapat memperbaiki ketersediaan nutrisi bagi tanaman, menjadikannya kandidat yang menjanjikan dalam sistem pertanian organik.



Gambar 4. Koloni Jamur *Aspergillus niger* (A), Konidia *Aspergillus niger* (B), *Aspergillus niger* Pada Buku Barnett and Hunter (C).

5. Rhizopus

Rhizopus adalah genus jamur lain yang juga diisolasi dari tanaman padi di Indonesia. Spesies ini memiliki potensi dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan mengendalikan penyakit. Dalam penelitian Sopialena (2022), isolat *Rhizopus oryzae* menunjukkan kemampuan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres, termasuk serangan patogen dan kekeringan. Penelitian menunjukkan bahwa aplikasi *Rhizopus* pada padi dapat mengurangi insidensi penyakit hingga 50%, sementara juga memperbaiki pertumbuhan akar dan kualitas hasil. Karakteristik dari *Rhizopus* adalah kemampuannya untuk memproduksi enzim lignoselulolitik, yang berkontribusi terhadap proses dekomposisi bahan organik dan meningkatkan kesuburan tanah.

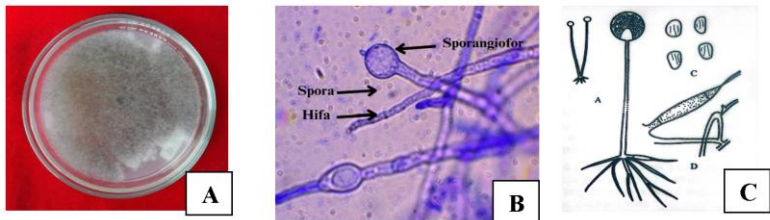
Secara keseluruhan, penemuan spesies endofit seperti *Trichoderma*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Aspergillus niger*, dan *Rhizopus* di tanaman padi di Kalimantan Timur menunjukkan potensi besar mereka dalam mendukung pertanian organik dan pengendalian penyakit secara berkelanjutan. Masing-masing spesies memiliki karakteristik dan mekanisme

yang berbeda, namun semuanya berkontribusi terhadap kesehatan tanaman dan pengendalian penyakit. Dengan meningkatnya tantangan dari patogen tanaman dan perubahan iklim, pemanfaatan jamur endofit lokal sebagai solusi alternatif dalam pengendalian penyakit sangat penting untuk keberlanjutan pertanian di Indonesia. Penelitian lebih lanjut di bidang ini akan sangat berharga untuk mengidentifikasi lebih banyak spesies endofit yang adaptif dan efektif dalam meningkatkan produktivitas pertanian.

Hasil penelitian lain pada Sopialena (2022) menunjukkan bahwa aplikasi *Penicillium* pada tanaman padi dapat mengurangi tingkat serangan patogen hingga 60%. Karakteristik unik dari *Penicillium* sp. adalah kemampuannya untuk beradaptasi dengan baik terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi, menjadikannya lebih sesuai untuk digunakan dalam pengendalian penyakit tanaman lokal. Selanjutnya penelitian Sopialena dkk (2021) menunjukkan Penelitian ini menunjukkan bahwa cendawan endofit efektif dalam menghambat pertumbuhan *Pyricularia oryzae* Cav., penyebab penyakit blast pada padi. *Gliricium* sp. memiliki daya hambat tertinggi sebesar 78,96%, diikuti oleh *Trichoderma* sp. 78,08%, *Rhizopus* sp. 53,97%, dan *Penicillium* sp. 51,15%. Laju pertumbuhan juga bervariasi, dengan *Trichoderma* sp. mencapai 9 cm pada hari ke-2, *Gliricium* sp. 9 cm pada hari ke-3, sementara *Penicillium* sp. dan *Rhizopus* sp. lebih lambat, masing-masing 6,6 cm dan 6,5 cm pada hari ke-7. *P. oryzae* sendiri tumbuh cepat, mencapai 8,7 cm pada hari ke-7.

Dari segi kerapatan spora, *Trichoderma* sp. memiliki jumlah tertinggi, yaitu $138,4 \times 10^4$ spora/ml, diikuti oleh *Gliricium* sp. $121,6 \times 10^4$ spora/ml, *Penicillium* sp. 88×10^4 spora/ml, dan *Rhizopus* sp. $35,2 \times 10^4$ spora/ml. Mekanisme antagonis yang teramati meliputi kompetisi, antibiosis, dan parasitisme. *Rhizopus* sp. menunjukkan kompetisi,

Penicillium sp. bekerja melalui antibiosis, sementara *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. memiliki mekanisme ganda, yaitu kompetisi dan parasitisme. Hasil ini menunjukkan bahwa cendawan endofit berpotensi sebagai agen hayati yang efektif dalam mengendalikan penyakit blast pada tanaman padi.



Gambar 5. Koloni Jamur *Rhizopus* sp. (A), Konidia *Rhizopus* sp. (B), *Rhizopus* sp. Pada Buku Barnett and Hunter (C).

D. Pengujian Efikasi Jamur Endofit

Pengujian efikasi jamur endofit dalam mengendalikan penyakit tanaman telah dilakukan melalui berbagai uji laboratorium dan lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jamur endofit memiliki kemampuan signifikan dalam menekan serangan patogen, seperti *Fusarium wilt*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora*, dan *Cercospora leaf spot*. Penelitian yang dilakukan oleh Sopialena (2022) menegaskan bahwa aplikasi isolat *Trichoderma harzianum* pada tanaman padi dapat mengurangi insidensi *Fusarium wilt* hingga 75%. Efikasi ini diukur dengan membandingkan tanaman yang diobati dengan jamur endofit dengan tanaman kontrol yang tidak menerima perlakuan. Grafik di bawah ini menunjukkan persentase pengurangan penyakit setelah perlakuan selama periode pengamatan 30 hari.

Jenis Penyakit	Kontrol (%)	<i>Trichoderma harzianum</i> (%)	<i>Paecilomyces variotii</i> (%)
<i>Fusarium wilt</i>	70	25	30

Jenis Penyakit	Kontrol (%)	<i>Trichoderma harzianum</i> (%)	<i>Paecilomyces variotii</i> (%)
<i>Rhizoctonia solani</i>	65	20	15
<i>Phytophthora</i>	60	15	10
<i>Cercospora leaf spot</i>	80	35	25

Pada penelitian lebih lanjut, uji efikasi jamur endofit lainnya, seperti *Penicillium chrysogenum* dan *Aspergillus niger*, juga menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam mengendalikan penyakit. Penelitian yang dilakukan di lapangan di Kalimantan Timur menunjukkan bahwa aplikasi jamur endofit dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap *Rhizoctonia solani*, dengan pengurangan gejala penyakit sebesar 60% pada tanaman padi yang diterapkan dengan isolat *Penicillium* selama dua bulan. Hal ini menandakan bahwa jamur endofit bukan hanya efektif dalam kondisi laboratorium, tetapi juga menunjukkan potensi yang sama di lingkungan nyata.

Selanjutnya, isolat *Paecilomyces variotii* juga diuji dalam pengendalian *Phytophthora*. Penelitian oleh Sopialena (2023) melaporkan bahwa isolat ini berhasil mengurangi insidensi penyakit hingga 50% dibandingkan kontrol. Dalam pengujian ini, gejala penyakit diukur berdasarkan skala yang menunjukkan tingkat kerusakan pada daun dan batang tanaman. Hasil menunjukkan bahwa *Paecilomyces variotii* secara efektif dapat merangsang mekanisme pertahanan tanaman, memperkuat respons imun tanaman terhadap infeksi patogen.

Pengujian lebih lanjut dilakukan dengan mengamati efek jamur endofit terhadap *Cercospora leaf spot*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi jamur endofit dapat mengurangi kejadian penyakit tersebut hingga 35%, menjadikannya alternatif yang menarik dibandingkan dengan pestisida kimia. Dalam pengamatan ini, penyebaran dan keparahan gejala

penyakit dinilai berdasarkan kuadrat meter tanaman, dan hasilnya menunjukkan bahwa tanaman yang diterapkan dengan jamur endofit jauh lebih sehat dan produktif dibandingkan dengan kontrol. Grafik yang menunjukkan pengurangan gejala *Cercospora leaf spot* sebagai hasil aplikasi jamur endofit dapat dilihat di bawah.

Terakhir, hasil penelitian mengindikasikan bahwa jamur endofit tidak hanya berfungsi sebagai agen pengendalian hayati, tetapi juga berperan dalam meningkatkan kesehatan tanah dan tanaman secara keseluruhan. Dalam uji lapangan yang dilakukan, tanaman yang diobati dengan jamur endofit menunjukkan peningkatan hasil panen rata-rata sebesar 20% dibandingkan dengan kontrol. Ini menunjukkan bahwa efikasi jamur endofit dalam mengendalikan penyakit juga berkontribusi pada peningkatan produktivitas pertanian secara berkelanjutan. Penemuan ini sangat penting dalam konteks pertanian organik, di mana penggunaan bahan kimia perlu diminimalkan untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan kesehatan lingkungan.

E. Peningkatan Ketahanan Tanaman

Jamur endofit terbukti efektif dalam mengendalikan penyakit dan meningkatkan kesehatan serta produktivitas tanaman, seperti pada penelitian Sopialena (2023) dengan isolat *Trichoderma harzianum* pada tanaman padi. Akar tanaman yang diberi perlakuan jamur endofit ini menunjukkan peningkatan pertumbuhan hingga 15% dibandingkan kontrol, dengan rata-rata panjang akar mencapai 21 cm pada perlakuan *Trichoderma harzianum* dibandingkan dengan 18 cm pada tanaman kontrol. Peningkatan ini memperbaiki kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi dan air. Selain itu, penggunaan jamur endofit juga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan, seperti yang terlihat pada aplikasi

Penicillium chrysogenum pada tanaman cabai dan tomat di Kalimantan Timur. Tanaman yang diterapkan dengan *Penicillium* mengalami penurunan kerugian akibat kekeringan hingga 30%, dengan hasil panen cabai yang meningkat 18% dibandingkan dengan kontrol, yang berkontribusi pada peningkatan hasil panen.

Selain manfaat pada ketahanan terhadap penyakit dan stres, jamur endofit juga meningkatkan kualitas hasil pertanian. Penelitian pada tanaman padi dengan aplikasi *Aspergillus niger* menunjukkan peningkatan bobot 1000 biji hingga 20%, dengan bobot rata-rata 28 gram per 1000 biji pada perlakuan *Aspergillus niger* dibandingkan dengan 23 gram pada tanaman kontrol. Ini menunjukkan peningkatan ukuran dan kualitas butir padi yang lebih besar dan lebih padat. Temuan ini mendukung peran penting jamur endofit dalam pertanian organik, mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, dan mendukung keberlanjutan produksi pertanian dengan hasil yang lebih berkualitas dan ramah lingkungan.

F. Hasil Aplikasi di Lapangan

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sopialena mengenai aplikasi jamur endofit dalam pengendalian penyakit tanaman menunjukkan dampak signifikan di lapangan, terutama di wilayah Kalimantan. Dalam uji coba yang dilakukan di beberapa desa pertanian di Kalimantan Timur, aplikasi isolat *Trichoderma harzianum* dan *Penicillium chrysogenum* pada tanaman padi menghasilkan pengurangan insidensi penyakit seperti *Fusarium wilt* dan *Rhizoctonia solani* hingga 75% dan 60%, masing-masing. Penerapan jamur endofit ini dilakukan dengan metode penyemprotan dan pencampuran media tanam, yang memberikan hasil positif dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen.

Selain pengendalian penyakit, dampak positif dari aplikasi jamur endofit ini juga terlihat dalam peningkatan produktivitas tanaman. Petani yang menerapkan jamur endofit melaporkan peningkatan hasil panen padi rata-rata sebesar 20-30% dibandingkan dengan petani yang tidak menggunakan jamur ini. Penelitian di lapangan menunjukkan bahwa tanaman yang diobati dengan jamur endofit memiliki pertumbuhan vegetatif yang lebih baik, ditandai dengan ukuran batang yang lebih besar dan jumlah daun yang lebih banyak. Hal ini tidak hanya meningkatkan jumlah hasil panen, tetapi juga kualitas biji yang dihasilkan.

Dalam konteks pertanian organik, penerapan jamur endofit juga memberikan dampak yang signifikan terhadap kesehatan ekosistem pertanian. Dengan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, penggunaan jamur endofit membantu menjaga keseimbangan ekosistem, meningkatkan kesehatan tanah, dan mendukung keanekaragaman hayati. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa area pertanian yang menerapkan jamur endofit memiliki populasi organisme pengurai dan mikroba tanah yang lebih tinggi, yang berkontribusi pada kesuburan tanah jangka panjang. Dengan demikian, penggunaan jamur endofit sebagai agen pengendalian hayati berpotensi memperbaiki kualitas dan produktivitas lahan pertanian secara berkelanjutan.

Penerapan lapangan jamur endofit juga memberikan keuntungan ekonomi bagi petani. Dengan peningkatan hasil panen dan kualitas produk, petani dapat meningkatkan pendapatan mereka. Hasil wawancara dengan petani di Kalimantan menunjukkan bahwa sebagian besar petani yang menerapkan jamur endofit berhasil memperoleh harga yang lebih baik di pasar karena kualitas hasil panen yang meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa inovasi berbasis bioteknologi seperti penggunaan jamur endofit dapat menjadi strategi yang efektif dalam

meningkatkan kesejahteraan petani di era pertanian organik.

Akhirnya, keberhasilan penerapan jamur endofit di lapangan tidak hanya memberikan manfaat langsung bagi petani, tetapi juga menjadi model bagi praktik pertanian berkelanjutan di wilayah lain. Melihat hasil yang menjanjikan dari penelitian Sopialena, para peneliti dan praktisi pertanian di berbagai daerah di Indonesia mulai mengadopsi teknologi ini untuk mengatasi tantangan serupa dalam pertanian organik. Dengan pengembangan lebih lanjut dan diseminasi informasi mengenai penggunaan jamur endofit, diharapkan praktik pertanian organik dapat terus berkembang, sehingga meningkatkan ketahanan pangan dan keberlanjutan sistem pertanian di Indonesia.

G. Diskusi

1. Perbandingan dengan Studi Lain

Hasil penelitian Sopialena mengenai aplikasi jamur endofit untuk pengendalian penyakit tanaman di sistem pertanian organik menunjukkan hasil yang konsisten dengan penelitian lain di bidang yang sama. Sebagai contoh, studi oleh Reddy et al. (2020) melaporkan bahwa aplikasi *Trichoderma* spp. secara signifikan mengurangi insidensi *Rhizoctonia solani* hingga 70% pada tanaman kedelai. Selain itu, penelitian oleh Hussain et al. (2021) juga menemukan bahwa penggunaan jamur endofit dari genus *Penicillium* berhasil meningkatkan ketahanan tanaman tomat terhadap *Fusarium wilt*, dengan pengurangan insidensi penyakit mencapai 80%. Perbandingan ini menunjukkan bahwa jamur endofit memiliki potensi besar sebagai agen pengendalian hayati di berbagai jenis tanaman dan penyakit. Temuan Sopialena memperkuat argumen bahwa jamur endofit dapat digunakan secara efektif dalam pertanian organik, tidak hanya untuk mengendalikan penyakit

tetapi juga untuk meningkatkan kesehatan tanaman secara keseluruhan.

Namun, perbedaan dalam spesies jamur endofit yang digunakan dan metode aplikasi juga dapat mempengaruhi hasil yang diperoleh. Misalnya, Reddy et al. menggunakan metode pencampuran media tanam, sedangkan penelitian Sopialena mengaplikasikan jamur secara langsung ke tanaman. Metode yang berbeda dapat menghasilkan variasi dalam efektivitas dan dampak jamur endofit. Selain itu, konteks lokal dan kondisi iklim juga dapat mempengaruhi hasil penelitian. Misalnya, penelitian di daerah dengan kelembapan tinggi mungkin menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan daerah kering. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan konteks lokal dalam penerapan jamur endofit sebagai solusi pengendalian penyakit di pertanian organik.

2. Manfaat Jamur Endofit untuk Pertanian Organik

Implikasi praktis dari temuan penelitian Sopialena sangat signifikan bagi praktik pertanian organik. Dengan semakin meningkatnya kesadaran akan dampak negatif penggunaan pestisida kimia terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, penggunaan jamur endofit sebagai alternatif untuk pengendalian hayati menawarkan solusi yang ramah lingkungan. Jamur endofit tidak hanya mengendalikan penyakit tanaman tetapi juga meningkatkan ketahanan dan kesehatan tanaman secara keseluruhan. Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi jamur endofit dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas produk, yang sangat penting bagi petani organik dalam menghadapi persaingan pasar yang ketat.

Lebih lanjut, penggunaan jamur endofit dapat membantu meningkatkan efisiensi pengendalian hayati di sistem pertanian organik. Dengan mengandalkan mekanisme alami yang dimiliki oleh

jamur endofit, seperti kompetisi ruang dan produksi senyawa antimikroba (Aji, 2022). Petani juga dapat mengurangi ketergantungan mereka pada pestisida kimia. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya produksi, tetapi juga memperbaiki keberlanjutan praktik pertanian. Mengingat bahwa konsumen semakin memilih produk organik yang sehat dan bebas dari bahan kimia, adopsi jamur endofit dalam pertanian organik dapat menjadi langkah strategis untuk meningkatkan daya saing produk pertanian.

Selain penelitian-penelitian mengenai jamur endofit yang sudah dilakukan, Hasil penelitian mengenai jamur endofit ini juga sudah dipatenkan pada Paten No. S00201806141 mengenai Pupuk Organik yang mengandung jamur-jamur endofit. Selanjutnya juga sudah dipatenkan mengenai metoda pembuatan pestisida hayati yang mengandung jamur-jamur endofit pada Paten No. S00202101518.

3. Tantangan Implementasi

Meskipun potensi jamur endofit sangat besar, ada beberapa tantangan yang mungkin dihadapi dalam penerapan luas teknologi ini dalam skala besar. Salah satu tantangan utama adalah adaptasi jamur endofit terhadap kondisi lingkungan yang berbeda. Setiap daerah memiliki kondisi tanah, iklim, dan biodiversitas mikroba yang unik, yang dapat mempengaruhi efektivitas jamur endofit. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi spesies jamur endofit yang paling cocok untuk kondisi lokal dan untuk mengembangkan formulasi yang optimal untuk aplikasi di lapangan.

Tantangan lainnya adalah pengembangan formulasi produk yang efektif. Meskipun aplikasi jamur endofit menunjukkan hasil yang menjanjikan, formulasi yang mudah digunakan dan tahan lama masih diperlukan untuk meningkatkan adopsi oleh petani. Teknologi pengemasan dan distribusi juga

harus dipertimbangkan untuk memastikan bahwa jamur endofit tetap hidup dan efektif saat sampai di tangan petani. Selain itu, pendidikan dan pelatihan bagi petani organik juga penting untuk meningkatkan pemahaman mereka tentang manfaat dan cara penerapan jamur endofit.

Akhirnya, penerimaan oleh petani organik menjadi kunci keberhasilan implementasi jamur endofit. Banyak petani mungkin ragu untuk beralih dari metode konvensional yang telah mereka gunakan selama ini, terutama jika mereka tidak sepenuhnya memahami manfaat jangka panjang dari penggunaan jamur endofit. Oleh karena itu, pendekatan kolaboratif antara peneliti, pemerintah, dan petani sangat penting untuk membangun kepercayaan dan mendorong adopsi teknologi ini. Dengan memberikan bukti empiris dan demonstrasi langsung mengenai manfaat jamur endofit, diharapkan lebih banyak petani akan bersedia menerapkan metode pengendalian hayati ini dalam praktik pertanian mereka.

H. Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan oleh Sopialena mengenai peran jamur endofit dalam pengendalian penyakit tanaman memberikan wawasan berharga mengenai potensi jamur ini sebagai agen pengendalian hayati yang ramah lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jamur endofit, seperti *Trichoderma*, *Penicillium*, dan *Paecilomyces*, secara signifikan dapat mengurangi insidensi berbagai penyakit tanaman, seperti *Fusarium wilt* dan *Rhizoctonia solani*, serta meningkatkan kesehatan dan produktivitas tanaman padi. Temuan ini menegaskan bahwa jamur endofit tidak hanya berfungsi sebagai pengendali patogen, tetapi juga sebagai peningkat ketahanan tanaman, menjadikannya pilihan yang menarik dalam sistem pertanian organik.

Implikasi dari penelitian ini sangat penting untuk keberlanjutan praktik pertanian. Dalam konteks yang semakin mengkhawatirkan terkait penggunaan pestisida kimia yang berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, jamur endofit menawarkan solusi yang selaras dengan prinsip-prinsip pertanian organik. Dengan mengadopsi teknologi berbasis jamur endofit, petani dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia, meningkatkan kesehatan tanah, serta meningkatkan hasil dan kualitas produk pertanian. Selain itu, penggunaan jamur endofit mendukung keberagaman hayati dalam sistem pertanian, yang sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem.

Ke depan, ada kebutuhan mendesak untuk melakukan penelitian lebih lanjut yang berfokus pada optimalisasi formulasi produk jamur endofit dan penerapannya dalam berbagai sistem pertanian organik. Penelitian ini dapat mencakup pengembangan formulasi yang lebih efisien dan mudah digunakan, serta penyesuaian spesies jamur endofit dengan kondisi lokal yang berbeda. Selain itu, studi tentang dampak jangka panjang penggunaan jamur endofit dalam sistem pertanian organik perlu dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas dan keberlanjutannya. Rekomendasi ini penting untuk memastikan bahwa penggunaan jamur endofit tidak hanya memberikan manfaat dalam jangka pendek, tetapi juga mendukung pertanian berkelanjutan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji Roka Oktira, Aninda Kumala Sari & Diah Asta Putri. 2022. Isolasi dan Uji Aktivitas Antagonisme Jamur Endofit Tanaman Pisang (*Musa paradisiaca* L.) Terhadap *Fusarium oxysporum*. Jurnal Ilmiah Biologi. 2654-4571
- Anis, M., & Raghavendra, A. S. 2019. Endophytic fungi as a source of bioactive compounds: An overview. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 35(5), 70. doi:10.1007/s11274-019-2626-7.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. 1972. *Illustrated genera of imperfect fungi*. *Illustrated genera of imperfect fungi*. Mycologia. doi: 10.2307/3757954.
- Hussain, A., Zia, A., Shakir, U., & Bibi, H. 2021. Role of endophytic fungi in enhancing tomato resistance against *Fusarium* wilt. Journal of Plant Pathology, 103(4), 1133-1145.
- Mungroo, R., & Krishna, K. 2021. Isolation and characterization of endophytic fungi from medicinal plants: Potential sources of bioactive compounds. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 12(4), 1801-1809. doi:10.13040/IJPSR.0975-8232.12(4).1801-09.
- Purnama, N., Aji, R. M., & Fauzi, M. 2022. Potensi jamur endofit dalam meningkatkan produktivitas tanaman padi di Kalimantan Timur. Jurnal Agroteknologi, 10(2), 155-162. doi:10.15642/jagrotek.2022.10.2.155-162.
- Reddy, A. C., Duvvada, R. S., & Sahu, S. K. 2020. Efficacy of *Trichoderma* spp. on the management of *Rhizoctonia solani* in soybean. Plant Disease Research, 35(2), 113-119.

- Satyavani S.& K. Satyaprasad. 2009. Chitinase and β -1,3-Glucanase Production by *Trichoderma harzianum* and *T. viride*. *J Mycol Pl Pathol*. Vol.39.
- Sopialena, S. Sofian, S., & Alita, L.D. 2019. Diversitas Jamur Endofit pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) dan Potensinya sebagai Pengendali Hama. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 2(1), 44-49. <http://doi.10.35941/JATL>
- Sopialena, Suyadi, Sofian, Devi Tantiani & AN Fauzi. 2020. Efektivitas cendawan Endofit Sebagai Pengendali Penyakit Blast Pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agrifor*, 19(2). <http://doi.10.31293af.v19i2.4813>
- Sopialena. 2021. Pengendalian Organisme Pengganggu Tumbuhan ramah lingkungan melalui pengendalian hayati. Samarinda, Mulawarman University Press. ISBN: 978-623-02-2895-7.
- Sopialena. 2023. Jamur Endofit sebagai Solusi Pengendalian Hayati dalam Pertanian Organik: Temuan dan Implikasi. Penelitian Internal, Universitas [Universitas Mulawarman].
- Sopialena, Encik Akhmad Syaifudin & Rusdiana. 2021. Kemampuan Jamur Endofit Padi dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur Penyebab Penyakit Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*. 42-49. 2621-394.
- Sturz, A. V., & Nowak, J. 2000. Endophytic bacteria in the rhizosphere: The role of beneficial endophytes in soil health and plant development. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(2), 126-134.
- Yulianti Titiek. 2013. Pemanfaatan Endofit Sebagai Agensi Pengendali Hayati Hama dan Penyakit Tanaman. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*. 2085-6717.
- Zhang, J., Yang, Y., Liu, Y., & Chen, F. 2018. Endophytic fungi and their applications in agriculture: A review. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2540. doi:10.3389/fmicb.2018.02540.

- Zhang, S., Wang, Y., Chen, S., & Li, H. 2020. Biocontrol of plant diseases using endophytic fungi: A review. *Agriculture*, 10(6), 207. doi:10.3390/agriculture10060207.
- Zubair, M., Khan, A. S., & Bafakeeh, O. T. 2021. Biological control of plant diseases using endophytic fungi: Recent advances and future perspectives. *Agronomy*, 11(9), 1692. doi:10.3390/agronomy11091692.



UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang berfokus pada eksplorasi, identifikasi, dan karakterisasi jamur endofit serta perannya dalam pengendalian organisme pengganggu tumbuhan, terutama patogen penyebab penyakit tanaman telah dilaksanakan sejak tahun 2018 hingga saat ini. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian payung yang melibatkan serta mendapatkan dukungan dari berbagai pihak, termasuk pimpinan, rekan sejawat, mahasiswa, dan mitra peneliti, baik dari Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman maupun dari fakultas dan institusi lain di luar Universitas Mulawarman, dengan pendanaan dari berbagai sumber. Oleh karena itu, penulis mengucapkan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor Universitas Mulawarman, Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Dekan Fakultas Pertanian, Ketua Jurusan Agroekoteknologi, dan Kepala Laboratorium Hama dan laboran Ilmu Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman.
2. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui hibah penelitian Fundamental-DIKTI (2013-2014; 2014-2015), penelitian Terapan (2013-2014; 2015-2016), Kemendikbud-RISTEK (2024-2025), Penelitian Hibah BOPTN (2020-2021; 2021-2022; 2024-2025).
3. Rekan dan mitra peneliti yang terlibat, yaitu Prof. Widi Sunaryo, S.P., M.Si., Prof. Nurhasanah, S.P., M.Si., Kadis Mujiono, S.P., Ph.D., Dr. Ndan Imang., Dr. A. Syakhril, Andi Suryadi, SP., MP., Sofian, SP., M.Sc. dan Rosfiansyah, SP., MP., Ph.D.
4. Mahasiswa-mahasiswa S1 Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman yaitu Novita Aditya dan Andi Juliano, dan mahasiswa S2 Fakultas

Pertanian Universitas Mulawarman yaitu Devi Tantiani, SP., MP., dan Azis Nur Fauzi.

Rasa terimakasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada keluarga tercinta yang membuat semua karya ini menjadi mungkin untuk terlaksana: ayahanda alm. Zamzam dan ibunda almh. Hj. Hairani; suami alm. Wardhana Kassah dan ananda tercinta Anggia Mayangasari Wardhana, Anggia Prameswari Wardhana beserta Ibadurrahman Ali, dan Anggia Rarasati Wardhana beserta Ari Agus Saputra Aruzi, juga kepada saudari-saudari tersayang Ida Karni beserta keluarga; Rita Ratina beserta keluarga; dan Asmira beserta keluarga.



CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Ir. Sopialena, M.P., Ph.D.
NIP : 19630091988032001
NIDN : 0009106303
Tempat, Tanggal Lahir : Samarinda, 9 Oktober 1963
Agama : Islam
Email : sopialena88@gmail.com
No HP : 082252247875
Fakultas : Pertanian
Pangkat, Gol. : Pembina
Jabfung, TMT : Guru Besar
TMT Golongan : 1 September 2024
ID SINTA : 5988089
ID SCOPUS : 57193899578

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) : Sarjana Pertanian, Universitas Mulawarman
2. Magister (S2) : Pertanian, Universitas Brawijaya
3. Doktor (S3) : University of The Philippines

RIWAYAT PENELITIAN

Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
		Sumber	Jumlah (Rp. Juta)
2013	1. Pengaruh aplikasi <i>Trichoderma</i> sp. terhadap intensitas penyakit pada tanaman cabai besar (<i>Capsicum annum</i> L.).	Kemenristekdikti	60 Juta
	2. Studi Keanekaragaman Mikroba Tanah	Kemenristekdikti	60 Juta

Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
		Sumber	Jumlah (Rp. Juta)
	Pada Lahan Revegetasi Tambang Batu Bara		
2014	1. Pengendalian Hayati Menggunakan <i>Trichoderma Sp.</i> Terhadap Penyakit Layu <i>Fusarium Oxysporum</i> Pada Varietas Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i>).	Kemenristekdikti	60 Juta
		Kemenristekdikti	60 Juta
		Kemenristekdikti	70 Juta
	2. Efektivitas Beberapa Fungisida Terhadap Perkembangan Penyakit Dan Produksi Tanaman Cabai (<i>Capsicum frutescens</i>)		
	3. Kajian Faktor Iklim Terhadap Dinamika Populasi <i>Pyricularia oryzae</i> Pada Beberapa Varietas Padi Sawah (<i>Oryza sativa</i>)		
2015	1. Efektivitas Beberapa Fungisida Nabati Terhadap Perkembangan Penyakit Dan Produksi Tanaman Cabai (<i>Capsicum frutescens</i>)	Kemenristekdikti Kemenristekdikti	60 juta 70 juta
	2. Kajian Faktor Iklim Terhadap Dinamika Populasi <i>Pyricularia oryzae</i>		

Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
		Sumber	Jumlah (Rp. Juta)
	Pada Beberapa Varieatas Padi Sawah (<i>Oryza sativa</i>)(Lanjutan)		
2016	1. Uji Efektivitas Jamur <i>Beauveria bassiana</i> Terhadap Perkembangan Hama Tanaman Padi <i>Oriza Sativa</i> L.	Kemenristekdikti	50 juta
2017	1. Uji Efektivitas Jamur <i>Beauveria bassiana</i> Terhadap Perkembangan Hama Tanaman Padi <i>Oriza Sativa</i> L. (Lanjutan) 2. Identifikasi penyakit pada tanaman Padi di Kalimantan Timur	Kemenristekdikti Mandiri	50 juta -
	3. The benefit of top soil and fertilizer mixture to improve the ex-coal mining land	Mandiri	20 juta
2018	4. The diversity of Endophytic fungi associated with <i>Piper nigrum</i> in The Tropical Areas	Mandiri	20 juta
2019	5. Diversitas Jamur Endofit pada Tanaman Padi dan Potensi Sebagai Pengendali Hama	Hibah Faperta Unmul	20 juta
2020	6. Efektivitas Jamur Endofit sebagai pengendali	Hibah FAperta Unmul	20 juta

Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
		Sumber	Jumlah (Rp. Juta)
	penyakit Blast secara in Vitro		
2021	7. Investasi jamur endofit terhadap intensitas penyakit, pertumbuhan dan hasil pada beberapa varietas tanaman padi	Hibah Faperta Unmul	20 juta
2023	8. Pestisida nabati untuk mengendalikan Penyakit pada Padi	Hibah Faperta Unmul	20 Juta
	9. Pestisida nabati untuk mengendalikan Penyakit pada tomat	Hibah Faperta Unmul	20 Juta
	10. Identifikasi jamur endofit dan potensinya mengendalikan penyakit pada buah naga	Hibah Faperta Unmul	20 Juta
	11. INDIGENOUS KALTIM DAN EFEKTIVITASNYA PADA HAMA WALANG SANGIT SECARA IN-VITRO	Hibah Faperta Unmul	20 Juta
2024	12. Pengujian Biopestisida untuk Mengendalikan Penyakit pada Tanaman Padi	BIMA	347 juta
	13. Inventarisasi dan Karakterisasi Jamur Endofit pada Kelompok Piper	BIMA	53 juta

Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
		Sumber	Jumlah (Rp. Juta)
	14. Identifikasi Jamur Endofit dan Antagonis patogen Buah Naga	Hibah BOPTN	20 juta

PENGABDIAN MASYARAKAT

Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
		Sumber	Jumlah (Rp juta)
2013	Sebagai Tenaga Ahli pada DPRD Provinsi Kalimantan Timur	APBD	
2014	Sebagai Tenaga Ahli pada DPRD Provinsi Kalimantan Timur	APBD	
2015	Sebagai Tenaga Ahli pada DPRD Provinsi Kalimantan Timur	APBD	
2016	Sebagai Tenaga Ahli pada DPRD Provinsi Kalimantan Timur	APBD	
2017	Sebagai Tenaga Ahli pada DPRD Provinsi Kalimantan Timur	APBD	
2018-2019	Sebagai Team Percepatan Kaltara	APBD	
2022	Adopsi Teknologi Pisang Sungking di Kabupaten Kutai Kartanegara	BIMA	
2023	Introduksi Teknologi Pestisida Hayati di Lempake, Samarinda	BOPTN	
2023	Introduksi Teknologi Pestisida Nabati di Loajanan, Samarinda	Mandiri	

PUBLIKASI ILMIAH DALAM JURNAL

Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/ Nomor/ halaman	Nama Jurnal	Alamat URL
2014	Efektivitas Cara Penularan Virus Mozaik pada Tanaman Cabe	Vol. XIII No.2	AGRIFOR	//www.google.com/url?sa=t&rct=j&q
2015	Ketahanan Beberapa Varietas Tomat terhadap Penyakit Fusarium Oxysforum dengan Pemberian Trichoderma	Vol. XIV, No. 1	AGRIFOR	//www.google.com/url?sa=t&rct=j&q
2016	Efektifitas Beberapa Fungisida Terhadap Perkembangan Penyakit Dan Produksi Tanaman Cabai (Capsicum frutescens)	Vol 15, No 1 (2016)	AGRIFOR	//www.google.com/url?sa=t&rct=j&q
2017	1. Inventarisasi Cendawan Mikro Serta Potensinya Sebagai Biofertilizer Dan Agensia Pengendali Hayati Pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Bara Di Samarinda 2. Study of climatic factors on the population dynamics of Pyricularia Oryzae on some varieties of paddy rice (Oryza sativa) 3. The benefit of top soil and fertilizer mixture to improve the ex-coal mining land 4. Genus Nematoda Entomopatogen pada Lahan Lebak Padi Sawah di Kecamatan Muara Wis Kab Kutai Kartanegara	16 No.218, Number 2 Vol. 9, No. 1 Prosiding KAIB	AGRIFOR BIODIVERSITAS Nusantara Bioscience	//www.google.com/url?sa=t&rct=j&q https://www.google.com/search?q=sopialena+biodiversitas&biw= http://biosains.mipa.uns.ac.id/N/N0901.htm
	5. The diversity of Endophytic fungi associated with Piper		Biodiversitas	

Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/ Nomor/ halaman	Nama Jurnal	Alamat URL
	ningrum in The Tropical Areas			
2018	The Role of Neem Leaves as Organic Pesticides in Chilli pepper		Nusantara Bioscience	
2018	Diversitas Jamur Endofit pada Tanaman Padi dan Potensi Sebagai Pengendali Hama		JATL	
2019	Efektivitas Jamur Endofit sebagai pengendali penyakit Blast secara in Vitro		Agrifor	
2020	Investasi jamur endofit terhadap intensitas penyakit, pertumbuhan dan hasil pada beberapa varietas tanaman padi		Agrifor	
2021	Influence of biopesticides on growth cause by Anthracnose in Cayene Pepper		JATL	
2019	Plant Resistance to leave and their effect on Paddy Rice Plant in Kutai Barat		Asean Journal	
2019	Diversity of Diseases of Rice in Kutai Kartanegara, Indonesia		Asean Journal	
	High Conservation Value Consideration in The Extrication of Forest Area		Tadulako Law Review, Sinta-3	
2020	Control of Rice Diseases using Endophytic Fungi	Penyenggaraan Unpad	Prosiding Nasional on Earth and Environmental Science	
2021	Control of Bacterial Leaf Diseases using <i>Paenobacillus</i> sp.		International Prociding Scopus	

Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/ Nomor/ halaman	Nama Jurnal	Alamat URL
2021	Potential of <i>Paenobacillus</i> sp. and <i>Tricoderma</i> sp. to control Leaf Blight on Maizw		International Prociding Scopus	
2021	Control of Antracnose Disease using Endophytic Fungi	Bali, 2021	International Prociding Scopus	
2021	Investments of <i>Metarhizium</i> sp. and <i>Trichoderma</i> sp. in Post Coal Mining Soil to Soil Fertility, Growth and Yield of Tomato	Bali, 2021	International Prociding Scopus	
2021	Association of Endophytic Fungi to Rice Plants	Samarinda, 2021	International Prociding (ISBN)	
2022	Microbial Diversity in Post-Mining Land in Makroman Kelurahan, Sambutan District Samarinda City		Proceedings of the International Conference on Tropical Agrifood, Feed and Fuel (ICTAFF 2021)	
2022	Ecosystem Monitoring on Leaves of Leaf Rust Disease of Maize (<i>Zea mays</i> L.)		Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture 37 (1), 89-99	

Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/ Nomor/ halaman	Nama Jurnal	Alamat URL
2022	Control of Antracnose Disease in Tomato (Solanum Lycopersicum) Using Endophytic Fungi		KnE Life Sciences Issue title: The First Asian PGPR Indonesian Chapter International e-Conference 2021 Pages: 393–408 DOI: 10.18502/kls.v7i3.11147	
2023	Microbial Diversity in Post-Mining Land in Makroman Kelurahan, Sambutan District Samarinda City		Proceedings of the International Conference on Tropical Agrifood, Feed and Fuel (ICTAFF 2021)	
2024	Antagonist Test of Trichoderma sp and Gliocladium sp Against Fungal Pathogens That Cause Diseases on Tomato Plant		JATL	

Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/ Nomor/ halaman	Nama Jurnal	Alamat URL
2024	Assessment of nematode and microbial diversity and screening of entomopathogens in revegetated post-coal-mining land in Kutai Kartanegara District, East Kalimantan, Indonesia		Biodiversitas	
2025	Identification of endofitic fungi and Antagonis test to pathogens of Dragon Fruit		Atlantis International Proceeding	

PEMAKALAH SEMINAR ILMIAH (ORAL PRESENTATION)

No	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	Masyarakat Biodiversitas Indonesia	The benefit of top soil and fertilizer mixture to improve the ex-coal mining land	Balikpapan, 2015
2	Masyarakat Biodiversitas Indonesia	Study of climatic factors on the population dynamics of Pyricularia Oryzae on some varieties of paddy rice (Oryza sativa)	Samarinda, 2016
3	Masyarakat Biodiversitas Indonesia	Efektifitas Beberapa Fungisida Terhadap Perkembangan Penyakit Dan Produksi Tanaman Cabai (Capsicum frutescens)	Samarinda, 2016
4	IC TROOPS International conference	Identification of soil microbes at Rhizosphere in a variety of Jeli	Samarinda, 2017

No	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
5	IDB International Conference	Efektifitas Beberapa Fungisida Nabati Terhadap Perkembangan Penyakit Dan Produksi Tanaman Cabai (<i>Capsicum frutescens</i>)	Samarinda, 2017
6	Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas	The Role of Neem Leaves as Organic Pesticides in Chilli pepper	Bandung, 2018
7	Seminar Internasional Masyarakat Biodiversitas	The diversity of Endophytic fungi associated with <i>Piper nigrum</i> in The Tropical Areas	Bandung, 2018
8	Seminar Nasional	Jamur Endofit dan pengendalian Penyakit Cabai	Unpad, 2020
9	International Conference	Control of Bacterial Leaf Diseases using <i>Paenobacillus</i> sp.	Unpatti, 2020
10	International Conference	Potential of <i>Paenobacillus</i> sp. and <i>Trichoderma</i> sp. to control Leaf Blight on Maizw	Unpatti, 2020
11	International Conference: PGPR	Control of Antracnose Disease using Endophytic Fungi	Bali, 2021
12	International Conference: PGPR	Investments of <i>Metarhizium</i> sp. and <i>Trichoderma</i> sp. in Post Coal Mining Soil to Soil Fertility, Growth and Yield of Tomato	Bali, 2021
13	International Conference (ICTROPS)	Association of Endophytic Fungi to Rice Plants	Samarinda, 2021
14	ICTAFF-3	Antagonist Test of <i>Trichoderma</i> sp and <i>Gliricladium</i> sp Againts	Balikpapan 2023

No	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
		Fungal Pathogens That Cause Diseases on Tomato Plant	
15	ICTAFF-4	Identification of endofitic fungi and Antagonis test to pathogens of Dragon Fruit	Samarinda, 2024

KARYA BUKU

No.	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit
1.	2017	Segitiga Penyakit	120	Mulawarman Press
2.	2018	Pengendalian Hayati dengan memberdayakan Potensi Mikrobial	99	Mulawarman Press
3.	2019	Penyakit Penting Pada Tanaman Utama di Kalimantan Timur	221	Mulawarman Press
4.	2020	Mikrobial Pertanian	182	Mulawarman Press
5	2021	Jamur Endofit Sebagai Pengendali Penyakit pada Padi (Book Chapter)	9	Book Chapter De Publish
6	2021	Pengendalian Organisme Pengganggu	10	Book Chapter De Publish

No.	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit
		Ramah Lingkungan melalui Pengenalan Hayati (Book Chapter)		
7	2021	Pengendalian Terpadu dan Pengendalian Hayati Terhadap Organisme Pengganggu Tumbuhan untuk Pertanian Masa Depan (Book Chapter)	9	Book Chapter De Publish
8	2021	Pengendalian Organisme Pengganggu Tumbuhan melalui Budidaya Tanaman Untuk Pertanian Masa Depan (Book Chapter)	8	Book Chapter De Publish
	2022	Pengelolaan terpadu terhadap Patogen Jamur Tumbuhan	120	DePublish
	2022	Pengelolaan terpadu	112	DePublish

No.	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit
		terhadap Patogen Bakteri Tumbuhan		
	2023	Ketahanan Tanaman Terhadap Patogen	100	DePublish
	2024	Urgensi dan Konsep Perlindungan Tanaman Berkelanjutan (Book Chapter)		GET Press
	2025	Membangun Ketahanan Pangan (Book Chapter)		GET Press
	2025	Pertanian Ramah Lingkungan: Pengendalian Hama, Penyakit dan Gulma (Book Chapter)		GET Press

PEROLEHAN HAKI

Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
Pupuk Organik Plus Plus	2019	Paten Sederhana	
Praktik Pembuatan Asam Amino	2023	Hak Cipta Nasional	
Metoda Pembuatan Pestisida Hayati	2024	Paten Sederhana	
Diseminasi Teknologi Budidaya Dan Pencegahan	2024	Hak Cipta Nasional	

Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
Penyakit Layu Bakteri (Bakterial Wilt) Tanaman Pisang Sunking Hasil Kultur Jaringan			

PENGALAMAN MERUMUSKAN KEBIJAKAN PUBLIK/REKAYASA SOSIAL LAINNYA DALAM 10 TAHUN TERAKHIR

No.	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang telah diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1.	Perda Pendidikan di Kalimantan Timur	2010	Kaltim	Ada beberapa revisi
2.	Perda Tenaga Kerja Lokal	2012	Kaltim	Baik

PENGHARGAAN DALAM 10 TAHUN TERAKHIR (PEMERINTAH, INSTITUSI ATAU ASOSIASI LAINNYA)

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Penghargaan Satyalencana	Presiden RI	2015
2.	Penghargaan Satyalencana 30 tahun	Presiden RI	2019

PENGALAMAN MENGAJAR

a. Mata kuliah dalam Program Studi S1 di Fakultas Pertanian Unmul 5 Tahun Terakhir.

No	Nama mata kuliah	SKS		Tahun Ajaran	Tempat Mengajar
		Sem Gasal	Sem Genap		
1	Ilmu Penyakit Tumbuhan	X			Fakultas Pertanian Unmul

No	Nama mata kuliah	SKS		Tahun Ajaran	Tempat Mengajar
		Sem Gasal	Sem Genap		
2	Penyakit Penting Tanaman Utama	X			Fakultas Pertanian Unmul
3	Pengendalian Terpadu		X		Fakultas Pertanian Unmul
4	Epidemiologi		X		Fakultas Pertanian Unmul
5	Pengendalian Hayati		X		Fakultas Pertanian Unmul

b. Mata kuliah dalam Program Studi S2 di Fakultas Pertanian Unmul 5 Tahun Terakhir

No	Nama mata kuliah	SKS		Tahun Ajaran	Tempat Mengajar
		Sem Gasal	Sem Genap		
1	Dinamika Populasi	X			S2 Tropika Basah Faperta Unmul
3	Pengelolaan Organisme Pengganggu Tumbuhan		X		S2 Tropika Basah Faperta Unmul
4	Pengendalian Hayati Lanjutan		X		S2 Tropika Basah Faperta Unmul
5	Mikologi		X		S2 Tropika Basah Faperta Unmul
6	Interaksi Mikrobial dan Tumbuhan	X			S3 Tropika Lembab Faperta Unmul



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Fahrul Agus, S.Si., M.T., MTA., MCE.

SIG ANALISIS KEPUTUSAN PARTISIPATIF DAN
PERANNYA PADA MANAJEMEN RUANG
PERKOTAAN

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Fahrul Agus, S.Si., M.T., MTA., MCE.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan penuh rasa syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, saya menyampaikan orasi ilmiah ini sebagai bagian dari perjalanan akademik di Universitas Mulawarman. Sebagai seorang akademisi, saya memiliki tanggung jawab untuk berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan memberikan solusi atas berbagai tantangan yang dihadapi masyarakat, khususnya penerapan Sistem Informasi Geografis dalam manajemen ruang perkotaan yang berkelanjutan.

Perkembangan kota yang pesat menghadirkan berbagai permasalahan kompleks, mulai dari ketidakseimbangan tata ruang, degradasi lingkungan, hingga keterbatasan infrastruktur yang dapat menghambat kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, pendekatan berbasis teknologi dan data sangat dibutuhkan guna menciptakan sistem tata kelola yang lebih efektif, efisien, dan inklusif. Salah satu pendekatan yang semakin berkembang adalah integrasi antara Sistem Informasi Geografis Partisipatif (SIG-P) dengan analisis keputusan. Teknologi ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih berbasis data, meningkatkan partisipasi publik, serta mengoptimalkan kebijakan tata ruang.

Dalam orasi ilmiah ini, saya akan menguraikan bagaimana SIG-P dan analisis keputusan dapat berkontribusi dalam berbagai aspek manajemen perkotaan, termasuk peningkatan transparansi, efisiensi pengelolaan sumber daya, mitigasi risiko bencana, serta penguatan ekonomi lokal. Harapan saya, kajian ini dapat memberikan wawasan baru serta menjadi inspirasi bagi para akademisi, praktisi, dan pemangku kebijakan dalam membangun kota yang lebih berkelanjutan dan berdaya saing.

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung perjalanan akademik saya, khususnya keluarga, kolega, dan mahasiswa yang selalu menjadi inspirasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga pemaparan ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu dan praktik dalam bidang sistem informasi lingkungan-kehutanan.

Samarinda, 27 September 2025

Fahrul Agus



DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
SINOPSIS	6
BAB I PENDAHULUAN	8
BAB II SIG-P DAN ANALISIS KEPUTUSAN MULTI KRITERIA	9
BAB III PERAN SIG-P & ANALISIS KEPUTUSAN PADA MANAJEMEN RUANG KOTA	13
BAB IV <i>GreenSpaceGIS</i> : WebSIG PARTISIPATIF PENENTUAN RTH KOTA SAMARINDA	16
BAB V PENUTUP	19
DAFTAR PUSTAKA	20
UCAPAN TERIMA KASIH	23
CURRICULUM VITAE	26

SINOPSIS

Dalam era urbanisasi yang pesat, pengelolaan ruang perkotaan menjadi tantangan yang semakin kompleks. Berbagai permasalahan seperti tata ruang yang tidak terencana, kemacetan, degradasi lingkungan, bencana alam serta ketimpangan akses infrastruktur menuntut solusi berbasis teknologi dan partisipasi masyarakat. Orasi ilmiah ini membahas peran integratif antara Sistem Informasi Geografis (SIG) Partisipatif dan Analisis Keputusan sebagai pendekatan inovatif dalam manajemen ruang perkotaan yang berkelanjutan.

SIG analisis keputusan partisipatif memberikan kemampuan untuk mengolah dan menganalisis data spasial secara komprehensif yang memastikan bahwa setiap kebijakan tata ruang melibatkan berbagai pemangku kepentingan, termasuk masyarakat, akademisi, dan pemerintah. Dengan pendekatan ini, pengambilan keputusan menjadi lebih transparan, akurat, serta berbasis bukti ilmiah.

Orasi ini juga menjelaskan prospek SIG-Partisipatif analisis keputusan dapat diterapkan dalam berbagai aspek manajemen ruang kota, mulai dari pemetaan risiko bencana, pengelolaan infrastruktur, perancangan ruang terbuka hijau, hingga optimalisasi transportasi perkotaan. Selain itu, dijabarkan juga studi kasus penerapan metode analisis keputusan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) dengan teknik Analytical Hierarchy Process (AHP) yang dikombinasikan dengan SIG-P untuk menghasilkan rancangan dan implementasi sistem perangkat lunak *GreenSpaceGIS*, yaitu aplikasi kolaboratif partisipatif pemilihan lokasi RTH Kota Samarinda berbasis web.

Orasi ini menegaskan bahwa integrasi SIG-Partisipatif dan analisis keputusan merupakan pendekatan yang esensial dalam menghadapi tantangan perkotaan di masa depan. Implementasi strategi ini diharapkan dapat mendukung kebijakan pembangunan yang lebih inklusif, berbasis data, dan

berorientasi pada keberlanjutan lingkungan.

Sebagai penutup, orasi ini menguraikan perjalanan riset yang menjadi unggulan saya adalah tentang penerapan sistem informasi pada berbagai aspek seperti bidang pertanian, perkebunan dan lingkungan-kehutanan. Dari riset ini telah diterbitkan artikel internasional bereputasi diantaranya berjudul **“ESforRPD2: Expert System for Rice Plant Disease Diagnosis”** dan buku monograf dengan judul **“Manajemen Ruang Kota: WebSIG Partisipatif”**.

Semoga Alloh Subhanahu wa Ta’ala memberikan keberkahanNya atas jabatan ini.



BAB I

PENDAHULUAN

Proses pembangunan yang dilaksanakan oleh pemerintah telah banyak mengubah wajah permukaan bumi yang berakibat perubahan pada bentangan alam (*landscape*) yang berdampak pada sistem keseimbangan alam dan lingkungan (Ramachandra et al., 2022). Wajah permukaan bumi yang awalnya berupa bukit dan pegunungan, hutan atau semak belukar, dengan berbagai keanekaragaman hayati di dalamnya telah berubah ke berbagai bentuk seperti kawasan pemukiman penduduk, gedung-gedung perkantoran dan pusat bisnis serta berbagai sarana prasarana lainnya. Perubahan bentuk permukaan bumi tersebut jika tidak diimbangi dengan manajemen ruang yang bijaksana maka akan berujung pada kesengsaraan dan bencana alam (Rugumamu, 2021).

Disamping itu, pembangunan juga berdampak pada perubahan penggunaan lahan, pertumbuhan populasi, dan tekanan terhadap sumber daya alam menuntut pendekatan inovatif dalam pengelolaan ruang perkotaan (Das & Angadi, 2022). Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah integrasi model analisis keputusan dengan Sistem Informasi Geografis Partisipatif (SIG-P) (Kazemi & Hosseinpour, 2022), (Ejtemaei & Sima, 2019). Melalui pendekatan ini, perencanaan dan pengelolaan kota dapat dilakukan secara lebih transparan, inklusif, dan berbasis data yang akurat (Terribile et al., 2015), (Mekonnen & Gorsevski, 2015). Dalam orasi ilmiah ini, saya akan membahas bagaimana integrasi Sistem Informasi Geografis dan analisis keputusan berbasis masyarakat dapat berperan dalam mendukung manajemen ruang perkotaan yang berkelanjutan.

BAB II

SIG-P DAN ANALISIS KEPUTUSAN MULTI KRITEKRIA

Sistem Informasi Geografis yang beroperasi di jaringan global dengan tujuan untuk mendapatkan partisipasi masyarakat secara luas disebut juga dengan WebSIG Partisipatif (Mukherjee, 2015), (Agus, Ruchaemi, et al., 2013a), (Agus, Subagyo, et al., 2013). Menurut (Agus, 2012) di dalam Jurnal Informatika Mulawarman, bahwa 'GIS Participatory-Decision Support' sangat berpotensi untuk diintegrasikan pada permasalahan manajemen ruang wilayah agar proses perencanaan tata ruang dari awal sampai akhir penetapannya dapat melibatkan partisipasi publik yang luas. Sistem Informasi Geografis Partisipatif yang dapat beroperasi di internet dan bertujuan untuk membantu dalam pengambilan keputusan juga disebut WebSIG Decision Support (Agus et al., 2017).

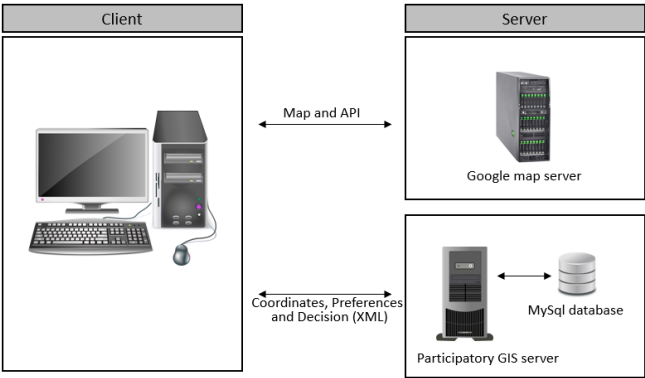
Salah satu metode yang dapat digunakan di dalam penentuan keputusan adalah analisis keputusan multi kriteria (*Multicriteria Decision Analysis-MCDA*). SIG dengan analisis keputusan multi kriteria (SIG-MCDA) dapat didefinisikan sebagai sebuah proses yang mengubah dan menggabungkan data geografis (kriteria peta) dan pertimbangan nilai (preferensi pengambil keputusan) untuk memperoleh informasi yang relevan untuk pengambilan keputusan (Borouhaki & Malczewski, 2010), (Agus, Ruchaemi, et al., 2013b).

Kemampuan aplikasi GIS umumnya diakui sebagai alat yang kuat dan terintegrasi untuk menyimpan, memanipulasi, menganalisa, dan memvisualisasikan data spasial. Sedangkan untuk pengambilan keputusan, metode MCDA menyediakan pustaka (*library*) yang berisi koleksi prosedur dan algoritma untuk penataan masalah keputusan, merancang, mengevaluasi, dan memberikan prioritas keputusan. Hasil rekomendasi MCDA inilah yang

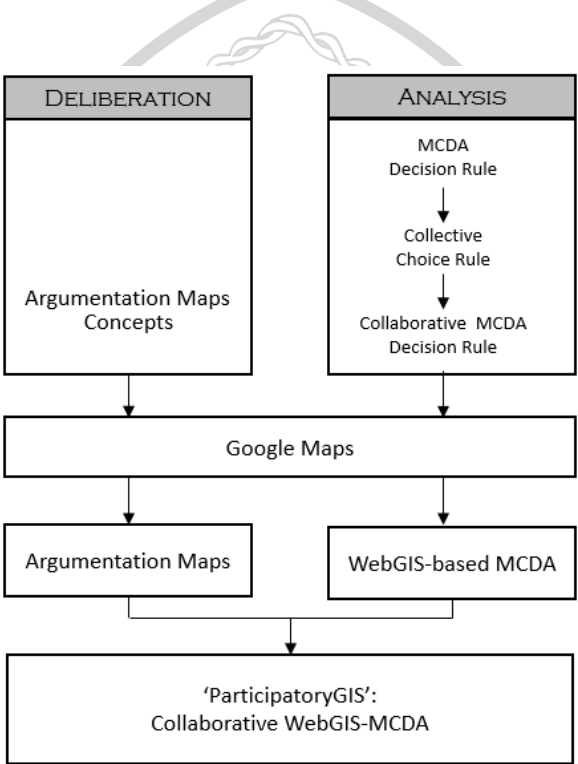
dapat dipakai sebagai hasil dari sebuah keputusan (*decision*).

Proses pengambilan keputusan multi kriteria kolaboratif dilakukan dengan mekanisme sebagai berikut: prosedur GIS-MCDA menggabungkan penilaian individu ke dalam preferensi kelompok sedemikian rupa sehingga alternatif kompromi terbaik dapat diidentifikasi. Dengan demikian, analisis keputusan bersama melibatkan prosedur dua tahap: (1) aturan keputusan MCDA (yaitu, aturan keputusan untuk menggabungkan peta kriteria sesuai dengan preferensi pembuat keputusan individu) dan (2) aturan pilihan kolektif (keputusan aturan untuk menggabungkan preferensi individu ke dalam preferensi kelompok).

Gambar 1 dan 2 berikut ini memberikan penjelasan mengenai arsitektur SIG Partisipatif dan kerangka kerja konseptual dari sebuah WebGIS-MCDA (Borouhaki & Malczewski, 2010). SIG Partisipatif melibatkan sisi client dan sisi server. Pada sisi server terdiri dari Google Maps server dan SIG Partisipatif server. Pada kerangka konsep SIG MCDA terdiri dari 2 elemen utama yaitu elemen musyawarah dan elemen analisis. Elemen musyawarah diintegrasikan dengan lingkungan Google Maps, yang menyediakan data geospasial dan fungsi SIG. Elemen analitis menyediakan kerangka yang sesuai dengan aturan keputusan MCDA kolaboratif dengan menggunakan algoritma MCDA untuk membuat keputusan individu dan aturan pilihan kolektif untuk menghasilkan solusi kelompok.



Gambar 1. Arsitektur SIG Parsipatif



Gambar 2. Kerangka Konseptual SIG-MCDA

Gambar 1 mengilustrasikan bahwa model analisis keputusan diimplementasikan pada sisi server SIG-Partisipatif. Pada sisi inilah berbagai informasi baik berupa peta dan data atribut menjadi bahan argumentasi agar diperoleh hasil rekomendasi keputusan yang tepat tentang pengelolaan suatu ruang wilayah. Sedangkan pada sisi client dirancang model interaksi yang mudah dan interaktif sehingga pengguna merasa nyaman untuk menggunakan aplikasi tersebut.

Sedangkan pada Gambar 2 menggambarkan rincian komponen sebuah server SIG-Partisipatif. Pada model ini dirancang modul yang berupa deliberation dan analysis. Pada modul deliberation berfungsi untuk merangkum dan mengkoleksi berbagai argumentasi berupa peta serta melakukan pemeringkatan kriteria berdasarkan bobotnya. Sedangkan pada modul analisis berfungsi memberikan rekomendasi berdasarkan pada mekanisme (*rule*) yang menggunakan *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA), aturan pemilihan secara kolektif (*collective choice rule*) serta aturan keputusan bersama (*collaborative decision rule*).

BAB III

PERAN SIG-P & ANALISIS KEPUTUSAN PADA MANAJEMEN RUANG KOTA

Manajemen ruang perkotaan merupakan proses kompleks yang memerlukan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, kebutuhan sosial, dan keberlanjutan lingkungan. Dalam hal ini, SIG-P dan analisis keputusan berperan sebagai alat yang membantu pemerintah, perencana, dan masyarakat dalam membuat keputusan yang lebih baik dan berbasis data (Robinson et al., 2023). Diantara peran SIG dengan kemampuan melakukan analisis keputusan dapat dijabarkan antara lain:

1. Meningkatkan Transparansi dan Partisipasi Publik

SIG-P memungkinkan masyarakat untuk terlibat dalam perencanaan dan pengambilan keputusan melalui kontribusi data spasial yang akurat. Dengan keterlibatan langsung masyarakat, proses perencanaan menjadi lebih inklusif dan mencerminkan kebutuhan riil warga kota. Hal ini juga membantu meningkatkan transparansi dalam pengelolaan ruang perkotaan, mengurangi potensi konflik, serta memperkuat akuntabilitas pemerintah.

2. Pemodelan Data untuk Perencanaan yang Lebih Akurat

Dengan menggunakan analisis keputusan dan SIG-P, data dapat diproses dan dimodelkan untuk menggambarkan berbagai skenario penggunaan lahan dan infrastruktur. Pemanfaatan metode seperti Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) dengan Analytic Hierarchy Process (AHP) memungkinkan pembuat kebijakan untuk menilai berbagai opsi dengan mempertimbangkan faktor lingkungan, ekonomi, dan sosial.

3. Efisiensi dalam Pengelolaan Sumber Daya

SIG-P dan analisis keputusan membantu mengoptimalkan penggunaan sumber daya di perkotaan dengan memberikan informasi yang lebih akurat mengenai kondisi lahan, infrastruktur, dan kebutuhan masyarakat. Melalui pendekatan berbasis data, pemerintah dapat mengalokasikan anggaran dengan lebih efektif dan mengurangi kesalahan dalam perencanaan.

4. Mitigasi Risiko dan Adaptasi terhadap Perubahan

Dengan integrasi SIG-P dan analisis keputusan, kota dapat lebih siap menghadapi berbagai tantangan seperti perubahan iklim, banjir, dan urbanisasi yang cepat. Teknologi ini memungkinkan pemodelan risiko yang lebih baik, serta mendukung perencanaan strategi adaptasi yang lebih tangguh dan responsif terhadap dinamika lingkungan.

5. Meningkatkan Efektivitas Kebijakan Tata Ruang

Keputusan mengenai tata ruang yang dibuat dengan mengandalkan data SIG-P dan analisis keputusan akan lebih berbasis bukti serta mengurangi subjektivitas. Ini memastikan kebijakan yang diimplementasikan lebih sesuai dengan kebutuhan jangka panjang dan tidak hanya berorientasi pada keuntungan jangka pendek.

6. Pengelolaan Kawasan Hijau dan Ruang Terbuka Publik

SIG-P dapat digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan akan ruang terbuka hijau yang lebih banyak serta menentukan lokasi-lokasi strategis untuk pembangunan taman kota. Dengan

menggunakan analisis keputusan, berbagai alternatif lokasi dapat dinilai berdasarkan kriteria lingkungan dan sosial guna menciptakan ruang perkotaan yang lebih sehat dan nyaman bagi masyarakat.



BAB IV

GreenSpaceGIS: WebSIG PARTISIPATIF PENENTUAN RTH KOTA SAMARINDA

Terdapat dua pendekatan dalam manajemen ruang wilayah perkotaan yaitu pendekatan secara ekologis dan morfologis (Stojanovski & Adams, 2024). Namun pendekatan manajemen ruang yang dikaitkan dengan permasalahan lingkungan seperti semakin berkurangnya kualitas dan kuantitas Ruang Terbuka Hijau adalah pendekatan secara ekologis (Huang et al., 2023).

Pendekatan secara ekologis wilayah perkotaan merupakan hubungan timbal-balik yang terjadi di lingkungan, khususnya di lingkungan perkotaan. Pendekatan ekologis yang terkait dengan keberadaan lingkungan dan nilai estetika yang dimilikinya dapat meningkatkan kualitas lingkungan untuk kelangsungan kehidupan perkotaan.

RTH perkotaan merupakan bagian dari ruang terbuka wilayah perkotaan (*urban spaces*) yang diisi oleh vegetasi guna mendukung manfaat langsung dan atau tidak langsung yang dihasilkan oleh RTH dalam kota tersebut yaitu keamanan, kenyamanan, kesejahteraan, dan keindahan wilayah perkotaan tersebut (Wicaksono et al., 2016).

Berikut ini menjelaskan penerapan SIG-P analisis keputusan pada pengembangan perangkat lunak aplikasi WebSIG berbasis sumber daya bebas dan terbuka (*free and open source software*). Perangkat lunak yang dikembangkan secara fungsional memiliki kemampuan melakukan analisis keputusan secara kolaboratif dan partisipatif sesuai model yang telah ditetapkan untuk pemilihan lokasi terbaik RTH di Kota Samarinda. Perangkat lunak beroperasi di lingkungan *World Wide Web* dan terdistribusi pada jaringan internet global dengan dengan nama domain *GreenSpaceGIS*.

Perangkat lunak *GreenSpaceGIS* menggunakan

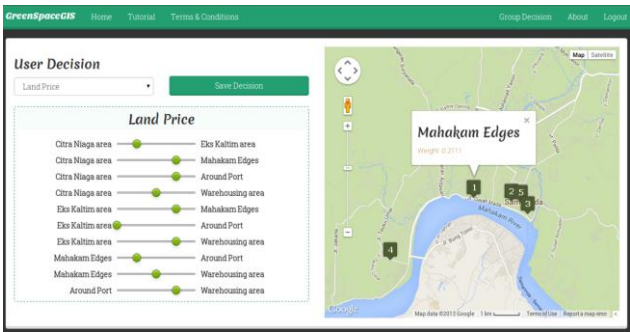
data geospasial yang bersumber dari Google Maps dengan pusat geografis berlokasi di Kota Samarinda. Google Maps merupakan vendor yang berbasis bebas dan terbuka, sejak tahun 2005 telah menyediakan layanan akses yang bersifat bebas untuk data geospasial yang berkualitas tinggi. Layanan tersebut berupa Google Maps API (*Application Programming Interface*) yang dapat dihubungkan ke dalam database aplikasi web yang sedang dibangun. Dengan adanya fasilitas ini, aplikasi WebSIG yang dibangun dapat melakukan proses manipulasi data spasial seperti *storing*, *representing* dan *analyzing*.

Secara fungsional, *GreenSpaceGIS* merupakan perangkat lunak WebSIG berbasis analisis keputusan multi kriteria (GIS-MDCA) yang dapat melakukan transformasi dan kombinasi antara data geografis dan nilai preferensi pembuat keputusan agar memperoleh informasi yang tepat untuk pengambilan keputusan mengenai pemilihan lokasi RTH.

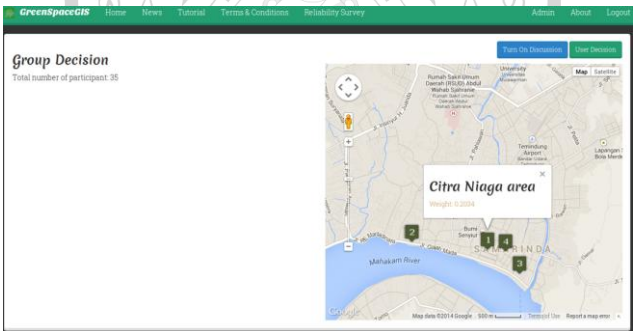
GreenSpaceGIS mengintegrasikan 2 (dua) area penelitian yang berbeda serta dapat saling melengkapi diantara keduanya. Sementara SIG merupakan area yang menyediakan alat bantu yang sangat *powerful* dan terintegrasi untuk penyimpanan, analisis dan visualisasi data spasial untuk pembuatan keputusan, sedangkan MCDA-AHP merupakan mekanisme yang menyediakan prosedur dan algoritma untuk analisis keputusan terstruktur, dapat dievaluasi serta membuat prioritas urutan dari keputusan.

Sasaran pengguna (*user*) dari aplikasi web *GreenSpaceGIS* merupakan masyarakat umum yang fokus dan memiliki kepedulian terhadap keberadaan ruang RTH. Pengguna aplikasi diharapkan datang dari semua lapisan, baik pengguna ahli atau awam, baik dari kalangan birokrat, akademisi, dari kalangan industri, dan berbagai profesi maupun masyarakat umum lainnya tanpa dibatasi agama dan etnis. Sesuai dengan pola distribusi yang berbasis internet, maka pengguna tidak dibatasi oleh tempat dan waktu.

Gambar berikut ini mengilustrasikan antarmuka aplikasi yang menghasilkan rekomendasi individu dan keputusan grup hasil kolaborasi.



Gambar 3. Antarmuka *GreenSpaceGIS* Keputusan individu



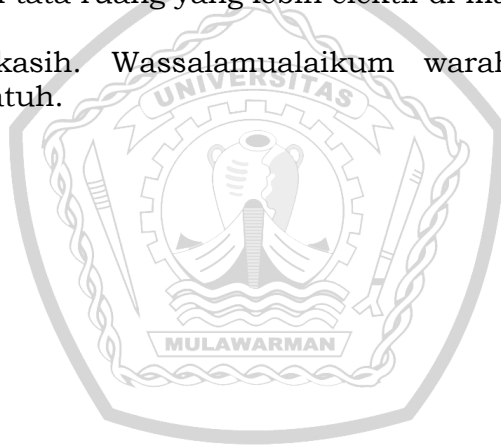
Gambar 4. Antarmuka *GreenSpaceGIS* keputusan hasil kolaborasi

BAB V

PENUTUP

Integrasi SIG-P dan analisis keputusan dalam manajemen ruang perkotaan menawarkan berbagai manfaat dalam menciptakan kota yang lebih berkelanjutan, inklusif, dan efisien. Dengan pendekatan ini, pemerintah dan masyarakat dapat bekerja sama dalam membuat keputusan yang lebih baik berdasarkan data spasial yang akurat. Oleh karena itu, investasi dalam teknologi dan pelatihan sumber daya manusia dalam bidang SIG-P serta analisis keputusan sangat penting untuk mendukung kebijakan tata ruang yang lebih efektif di masa depan.

Terima kasih. Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. (2012). *Kajian tentang integrasi 'gis participatory-decision support' dalam manajemen tata ruang suatu wilayah. Informatika Mulawarman : Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*7(1), 1–7, 2012.
- Agus, F., Azhari, M., Armanda, A., Silalahi, W., & Kusnandar, K. (2017). Preliminary Study: Decision Support WebGIS Design for Determining the Location of Balikpapan City Forest. *Informatika Mulawarman : Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 12(2), 2017. <https://doi.org/10.30872/jim.v12i2.781>
- Agus, F., Ruchaemi, A., & Subagyo, L. (2013a). Decision Support Model for Selection of Location Urban Green Public Open Space. *Journal of Computing*, 5(3), 6–11. <http://journalofcomputing.org/volume-5-issue-3-march-2013/>
- Agus, F., Ruchaemi, A., & Subagyo, L. (2013b). Participatory GIS Decision Support, A Software Web Based for Management Urban Ecological Space (Case Study : Selection of Location Green Public Open Space Samarinda, East Kalimantan Indonesia). *ICSEC Conference*.
- Agus, F., Subagyo, L., & Ruchaemi, A. (2013). Preliminary Study : WebGIS Decision Support Selection of Urban Green Open Space. *CSIT Conference*.
- Boroushaki, S., & Malczewski, J. (2010). *ParticipatoryGIS: A Web-based Collaborative GIS and Multicriteria Decision Analysis*. *URISA Journal*, Vol 22, 2010.
- Das, S., & Angadi, D. P. (2022). Land use land cover change detection and monitoring of urban growth using remote sensing and GIS techniques: a micro-level study. *GeoJournal*, 87(3). <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10359-1>
- Ejtemaei, S., & Sima, H. (2019). Provision of an

- integrated analysis model by combining AHP decision-making technique and GIS for identification and management of land use changes. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1).
- Huang, B. X., Li, W. Y., Ma, W. J., & Xiao, H. (2023). Space Accessibility and Equity of Urban Green Space. *Land*, 12(4).
<https://doi.org/10.3390/land12040766>
- Kazemi, F., & Hosseinpour, N. (2022). GIS-based land-use suitability analysis for urban agriculture development based on pollution distributions. *Land Use Policy*, 123.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106426>
- Mekonnen, A. D., & Gorsevski, P. V. (2015). A web-based participatory GIS (PGIS) for offshore wind farm suitability within Lake Erie, Ohio. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 162–177.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.030>
- Mukherjee, F. (2015). Public participatory GIS. *Geography Compass*.
<https://doi.org/10.1111/gec3.12223>
- Ramachandra, T. V., Vinay, S., & Bharath, S. (2022). Visualisation of landscape alterations with the proposed linear projects and their impacts on the ecology. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(1).
<https://doi.org/10.1007/s40808-021-01135-2>
- Robinson, K. F., Baker, E., Ewing, E., Hemming, V., Kenney, M. A., & Runge, M. C. (2023). Decision Analysis to Advance Environmental Sustainability. *Decision Analysis*, 20(4).
<https://doi.org/10.1287/deca.2023.intro.v20.n4>
- Rugumamu, W. (2021). Development Process, Planet Earth Resources and Environmental Change. *Journal Of The Geographical Association Of Tanzania*, 36(2).
<https://doi.org/10.56279/jgat.v36i2.139>
- Stojanovski, T., & Adams, D. (2024). Urban

morphology, smart sustainability and space
colonization. *Urban Morphology*, 28(1 SE-
Viewpoints), 84–92.

<https://doi.org/10.51347/UM28.000>

Terribile, F., Agrillo, A., Bonfante, A., Buscemi, G.,
Colandrea, M., D'Antonio, A., De Mascellis, R., De
Michele, C., Langella, G., Manna, P., Marotta, L.,
Mileti, F. A., Minieri, L., Orefice, N., Valentini, S.,
Vingiani, S., & Basile, A. (2015). A Web-based
spatial decision supporting system for land
management and soil conservation. *Solid Earth*,
6(3). <https://doi.org/10.5194/se-6-903-2015>

Wicaksono, S. A., Agus, F., & Arifin, Z. (2016).
*Penentuan Calon Ruang Terbuka Hijau Kota Pada
Kawasan Padat Penduduk Menggunakan ARCGIS*.
1(1), 109–112.



UCAPAN TERIMA KASIH

Sesungguhnya segala puji hanya kepada Allah semata-*Robbul izzati*, atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga saya mendapatkan kemudahan dan kelancaran dalam proses pencapaian karir akademik Guru Besar. Perkenankan saya untuk menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan kepada rekan sejawat, alumni, mahasiswa, guru-guru, dan keluarga yang saya hormati, banggakan, dan cintai yang telah membantu, memberikan semangat, dan motivasi pada sepanjang proses pencapaian karier akademik saya.

Terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia atas amanah jabatan fungsional Guru Besar dalam bidang ilmu Sistem Informasi Lingkungan-Kehutanan TMT 1 Desember 2024. Kepada Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Mulawarman; tim penilai angka kredit (PAK) Universitas Mulawarman; rekan-rekan TIM Kepegawaian terima kasih atas dukungan dan bantuan selama proses kenaikan jabatan fungsional ini.

Terima kasih serta apresiasi saya juga kepada pimpinan beserta jajaran Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Mulawarman atas segala pelayanan yang telah diberikan sehingga proses penelitian Hibah Simlitabmas yang saya pernah peroleh bisa berjalan lancar. Penghargaan yang sama saya sampaikan kepada jajaran pimpinan fakultas dan para tenaga kependidikan di Fakultas Teknik, FMIPA, Fakultas, Faperta dan FPIK Universitas Mulawarman. Ucapan yang sama juga saya tujukan kepada seluruh rekan-rekan dosen dan staf di Program Studi S1 Informatika atas bantuan dan kerjasamanya. Tak lupa penghargaan saya kepada para dosen yang terlibat dalam tim penelitian, pengabdian kepada masyarakat, dan publikasi.

Ungkapan terima kasih tentunya tidak akan cukup untuk guru-guru saya di SD Negeri 02 Tenggarong, SMP Negeri 1 Tenggarong, dan SMA Negeri 1 Tenggarong, serta dosen-dosen saya di Program Studi Statistika-FMIPA Institut Pertanian Bogor, Magister Teknik Informatika ITB Bandung, dan Program Doktor Ilmu Kehutanan Unmul atas ilmu pengetahuan yang telah berikan.

Saya juga berterima kasih kepada pembimbing skripsi saya Bapak Ir. Bambang Sumatri dan Ir. Made Sumertajaya yang telah memberikan pemahaman terhadap bidang ilmu statistika dan eksplorasi data. Terima kasih sebesar-besarnya dan penghargaan setinggi-tingginya tidak akan cukup saya berikan kepada pembimbing tesis Dr. dr. Oerip S. Santoso dan Tim Promotor disertasi saya Prof. Dr. Ir. H. Afif Richaemi, M.Agr., Dr. Ir. Sumaryono, M.Sc., dan Prof. Dr. Lambang Subagyo, M.Sc. yang penuh kesabaran dan pengertian membimbing saya khususnya terkait ilmu manajemen dan pengelolaan lahan spasial. Capaian dan keberlanjutan penelitian saya tidak lepas dari peran besar dari penguji disertasi saya Prof. Dr. Ir. H. Wawan Kustiawan, M.Agr., Prof. Dr. Bohari, M.Sc., dan Dr. Eng. Idris Mandang, M.Si.

Capaian jabatan akademik tertinggi ini juga tidak terlepas dari do'a dan harapan kedua orang tua saya selama hidupnya yaitu Bapak Alm. Baharuddin dan Almh. Bahariah serta kakak dan adekku yang telah mendukung finansial biaya perkuliahan sarjana saya di Kota Bogor, semoga Alloh Subhanahu wa Ta'ala membalasnya dengan ganjaran yang berlipat. Kepada bapak dan ibu mertua (Alm.) Peltu Rustam Ribut dan Maemunah serta adek-adek ipar yang telah mendukung demi terwujudnya jabatan ini. Karena dari keluarga ini, saya telah beruntung dipertemukan dengan istri saya, Ermin Wiyanti yang telah banyak kebersamai hidup bahtera rumah-tangga dan mendo'akan sehingga mencapai jabatan ini. Banyak cinta dan kasih sayang yang beliau curahkan untuk

saya dan kedua putra kami: Ir. Okta Ihza Gifari, S.Kom., M.Kom., dan Zanu Alfandi Kamil, S.Kom. Mereka yang menjadi penyemangat, penguat, dan membuat hidup lebih berwarna. Terima kasih atas semua pengertian, kesabaran, dan keceriaannya. Semoga mereka menjadi pemuda sholeh, berbahagia, dan beruntung serta bermanfaat bagi diri sendiri, orang lain, dan agama. Aamiin Ya Rabbal Alamin.

Demikian ungkapan rasa syukur dan terima kasih atas amanah karir jabatan fungsional Guru Besar saya. Semoga Allah Subhanahu wa ta'ala memberikan keberkahan, kemudahan, kekuatan, dan keselamatan dalam menjalankan tugas sebagai dosen dan peneliti, serta ilmu yang diperoleh dapat bermanfaat bagi masyarakat dan menjadi inspirasi dan motivasi untuk orang lain. Aamiin Ya Rabbal Alamin.



CURRICULUM VITAE

A. IDENTITAS DIRI

1. Nama Lengkap, gelar	: Prof. Dr. Fahrul Agus, S.Si., MT.
2. NIP / NIDN	: 196909261994121002 / 0026096903
3. Jabatan Fungsional	: Guru Besar
4. Jabatan Struktural	: -
5. Pangkat / Golongan Ruang	: Pembina Tingkat I / IVb
6. Tempat, Tanggal Lahir	: Tenggarong, 26 September 1969
7. Alamat Rumah	: Jl. PM. Noor Perum Bumi Sempaja Blok AG. No. 01 Samarinda
8. Alamat Email	: fahrulagus@unmul.ac.id
9. Nomor Handphone	: 08125868403

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

	S1	S2	S3
Nama PT	IPB	ITB	Unmul
Bidang Ilmu	Statistika	Informatika	Ilmu Kehutanan
Prodi/Jurusan	Statistika	Informatika	Ilmu Kehutanan
Tahun masuk-lulus	1989	1996	2010
Judul Skripsi/Tesis /Disertasi	Pendugaan Bobot Bayi Lahir Rendah Menggunakan Regresi Logistik	Perancangan dan Implementasi Perangkat Lunak Bantu SPC	Integrasi Model Keputusan dengan GIS untuk Manajemen Ruang
Nama Pembimbing /Promotor	Ir. Bambang Sumantri	Dr. dr. Oerip S Santoso	Prof. Afif Ruchaemi

C. SERTIFIKAT KOMPETENSI INTERNASIONAL

Sertifikat Profesional	Penyelenggara	Tanggal Sertifikasi	Sumber
MTA: Networking Fundamentals	Microsoft	29 November 2019	https://www.credly.com/badges/6a816efa-2f71-4d6d-a9a0-390713adb928
AWS Academy Graduate - AWS Academy Cloud Foundations	AWS Training and Certification	9 September 2021	https://www.credly.com/badges/b36c53f3-af7f-4a2d-8f89-22e55191b983

Sertifikat Profesional	Penyelenggara	Tanggal Sertifikasi	Sumber
MCE: Microsoft Certified Educator	Microsoft	10 Desember 2024	https://www.credly.com/badges/cebbb4b3-967b-46ad-8e59-68ed6ed5a639

D. PENGALAMAN ROYEK PENELITIAN

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah
1.	2024	Penggunaan Teknologi GIS dan Remote Sensing untuk Mendukung Terciptanya Kota Cerdas (Studi Kasus Penilaian Wilayah Rawan Banjir Perkotaan)	FT-UNMUL	30.000000
2.	2023	Identifikasi Kriteria dan Pemetaan Masyarakat Miskin Kota Samarinda Menggunakan Structural Equation Model dan Quantum Geographic Information System	DIKTI	206.200.000
3.	2023	Analisis Perubahan Tutupan dan Penggunaan Lahan Menggunakan Algoritma Maximum Likelihood Classification pada Data Citra Satelit Penginderaan Jauh	FT-UNMUL	21.750.000
4.	2022	Pengembangan Data Center/Satu Data Pangan	ABPD Pemkab Bulungan	137.894.500
5.	2022	WebGIS Klasifikasi Daerah Rawan Banjir Kota Samarinda	FT-UNMUL	18.000.000
6.	2021	Penyusunan Peta Rencana SPBE	APBD Pemkab Paser	75.000.000
7.	2020	Penyusunan Arsitektur SPBE	APBD Pemkab Paser	150.000.000
8.	2019	Implementasi Based Tracking Method dalam “Magic Boosed” – 3D Book Solid of Education Sebagai Media Pembelajaran Model Bangun Ruang 3D Augmented Reality	Dikti-TPM1-Thn ke-2	150.000.000
9.	2018	Implementasi Based Tracking Method dalam “Magic Boosed” – 3D Book Solid of Education Sebagai	Dikti-TPM1-Thn ke-1	95.000.000

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah
10.	2018	Media Pembelajaran Model Bangun Ruang 3D Augmented Reality		
		Penerapan WebSIG Partisipatif untuk Kolaborasi Penentuan Ruang Terbuka Hijau Kota Balikpapan	Dikti PPT-Thn ke-2	70.000.000
11.	2017	Penerapan WebSIG Partisipatif untuk Kolaborasi Penentuan Ruang Terbuka Hijau Kota Balikpapan	Dikti PPT-Thn ke-1	71.060.000
12.	2013	Integrasi Model Keputusan dengan SIG untuk Manejemen Ruang Wilayah	Dikti PPD	50.000.000

E. PENGALAMAN PROYEK PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

No.	Tahun	Judul Kegiatan Pengabdian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah
1.	2024	Revolusi Belajar Bahasa Inggris dengan Teknologi Digital: Sosialisasi dan Workshop	FT-Unmul	6.000.000
2.	2023	Sosialisasi dan Pelatihan Penggunaan Dompot Digital dalam Upaya Meningkatkan Kemudahan Transaksi di Kelurahan Lok Bahu Kecamatan Sungai Kunjang Kota Samarinda	FT-Unmul	2.955.000
3.	2022	Pengabdian Masyarakat: Pelatihan Analisis Statistik Kuantitatif untuk Riset Eksperimen bagi Mahasiswa Tugas Akhir	FT-Unmul	5.000.000
4.	2022	Narasumber Bijak Bersosial Media di Polnes Samarinda	Polda-Kaltim	-
5.	2019	Pembimbing Kegiatan KKN Reguler Universitas Mulawarman di Kecamatan Biduk-Biduk Kabupaten Berau	LP2M-Unmul	-
6.	2019	Narasumber pada Perumusan Kebijakan Peningkatan Kualitas Hidup Perempuan	BPPKB Kab. Paser	-
7.	2018	Narasumber Berselancar di Internet secara Sehat dan Aman	Hotel Bumi Senyur-MUI Kota Samarinda	-

No.	Tahun	Judul Kegiatan Pengabdian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah
8.	2017	Narasumber Internet Sehat bagi Dharma Wanita Provinsi Kaltim	Kantor Bappeda Kaltim	-

F. PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL INTERNASIONAL BEREPUTASI

No.	Judul Artikel Ilmiah	Penerbit/Tahun	Q
1.	Spatial Analysis of Flood Risk Assessment in Sungai Pinang District, Samarinda City, Using GIS Technology	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025	Q3
2.	ESforRPD2: Expert System for Rice Plant Disease Diagnosis	F1000Research, 2024	Q1
3.	Object Oriented Design Systems for WebGIS Flood Risk Classification in Samarinda, Indonesia	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023	Q3
4.	Detecting land use land cover using supervised maximum likelihood algorithm on spatiotemporal imagery in Samarinda, Indonesia	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023	Q3
5.	Diagnose Pest and Disease of Black Orchid Plant Using Naive Bayes Method	Proceedings - 2021 IEEE 7th Information Technology International Seminar, ITIS 2021	No-Q
6.	Lecturer readiness analysis of online learning at Mulawarman University in the Covid-19 Era	Proceeding - 6th Information Technology International Seminar, ITIS 2020	No-Q
7.	Magic Boosed" an elementary school geometry textbook with marker-based augmented reality	Telkomnika, 2019	Q3
8.	Hybrid Participatory GIS-Decision Support Model for Increasing Community Participation in Urban Spatial Planning	Proceedings - 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology: Internet of Thin, 2018	No-Q
9.	Artificial neural network optimized approach for improving spatial cluster quality of land value zone	International Journal of Engineering and Technology(UAE)	No-Q

G. PENGALAMAN SEBAGAI REVIEWER JURNAL NASIONAL/INT'L

No.	Nama Jurnal	Masa aktif	Link Reviewer
1.	International Journal of Environment Monitoring and Analysis	07/09/2024 s.d. 07/09/2027	http://www.ijema.org/reviewers
2.	Jurnal Nasional Sinta-2 INFOTEL	2019 s.d. sekarang	https://ejournal.ittelkom-pwt.ac.id/index.php/infotel/reviewer
3.	Jurnal Nasional Sinta-2 JTIK Universitas Brawijaya Malang	2024 s.d. sekarang	https://jtiik.ub.ac.id/index.php/jtiik/about/editorialTeam
4.	Jurnal Sain Terapan dan Teknologi Informasi Politeknik Samarinda	2020 s.d. sekarang	https://ejournal.polnes.ac.id/index.php/justi

H. PENULISAN BUKU

No.	Judul Buku	Tahun	Penerbit
1.	Desain Alat Pengering Berbasis Arduino (ISBN: 978-602-6834-20-1)	2016	Mulawarman Press
2.	Chapter dalam Buku: Penerapan Algoritma Partisioning Around Medoids untuk Pengklasifikasian Buffer Zone IKN Nusantara sebagai Penyokong Komoditas Perkebunan untuk Mendukung Terwujudnya IKN yang Kuat	2022	IPB Press
3.	Manajemen Ruang Kota: WebSIG Partisipatif	2025	Seval Literindo Kreasi

I. PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan	Tanggal	Pemberi Penghargaan
1.	Satyalancana Karya Satya 10 Tahun	01/08/2008	Presiden Susilo Bambang Yudoyono
2.	Satyalancana Karya Satya 20 Tahun	04/03/2017	Presiden Joko Widodo

No.	Nama Penghargaan	Tanggal	Pemberi Penghargaan
3.	The Best Paper Seminar Nasional Inovasi Nusantara 2024	08/06/2024	Universitas Persada Indonesia YAI Jakarta
4.	The Best Paper Seminar Nasional Teknologi dan Reyasa Informasi (SENTRIN 2024)	15/10/2024	Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Malang





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR

Prof. Dr. Ir. Hj. Andi Noor Asikin, M.Si.

PROSPEK IKAN HARUAN (*Channa striata*) SEBAGAI
SUMBER ALBUMIN DALAM PENGEMBANGAN
PRODUK PANGAN FUNGSIONAL BERBASIS
POTENSI LOKAL

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

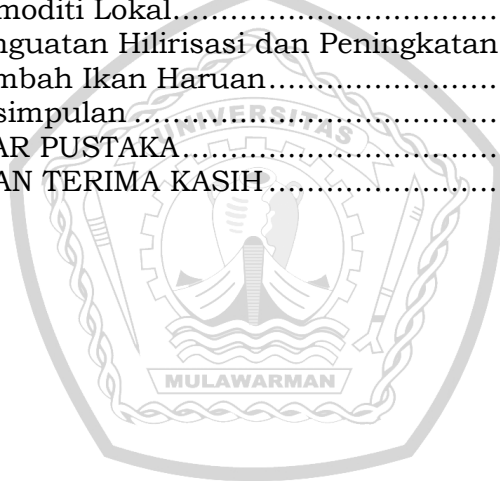
FOTO ORATOR



Prof. Dr. Ir. Hj. Andi Noor Asikin, M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
SINOPSIS	1
KATA PENGANTAR	3
A. Pendahuluan	5
B. <i>Edible Portion</i> dan Kandungan Kimia Ikan Haruan.....	7
D. Pengembangan Potensi Ikan Haruan sebagai Komoditi Lokal.....	12
E. Penguatan Hilirisasi dan Peningkatan Nilai Tambah Ikan Haruan.....	14
F. Kesimpulan	16
DAFTAR PUSTAKA.....	18
UCAPAN TERIMA KASIH	22



DAFTAR TABEL

Tabel 1. *Edible portion* ikan haruan (*C. striata*) pada berbagai kelompok berat 7

Tabel 2. Persentase kimia ikan haruan (*C. Striata*) pada berbagai kelompok berat..... 8

Tabel 3. Komposisi kimia ekstrak albumin (%) ikan haruan (*C. Striata*) berdasarkan berat ikan dan pelarut yang digunakan..... 10

Tabel 4. Profil asam amino ekstrak albumin ikan haruan (*C. Striata*) berbagai ukuran dan pelarut berbeda 11



SINOPSIS

Ikan haruan (*Channa striata*) merupakan spesies ikan air tawar yang mendiami berbagai ekosistem perairan, termasuk sungai, rawa, danau, serta genangan air lainnya. Ikan ini memiliki sifat predator dan menunjukkan tingkat toleransi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan perairan yang ekstrem.

Ikan haruan dikenal memiliki profil gizi yang baik, dengan kandungan albumin yang tinggi sebagai salah satu keunggulannya. Kandungan albumin yang melimpah ini menjadikan ikan haruan berpotensi besar untuk dimanfaatkan dalam bidang kesehatan dan industri pangan.

Dalam bidang kesehatan, albumin sering digunakan untuk mengatasi kondisi hipoproteinemia atau kekurangan protein dalam darah. Albumin ikan haruan telah banyak digunakan sebagai terapi alami untuk mempercepat penyembuhan luka, termasuk luka operasi, luka akibat diabetes, dan luka bakar. Dalam bidang pangan, albumin dari ikan haruan dapat difortifikasi ke dalam berbagai produk untuk meningkatkan kandungan proteinnya. Produk-produk seperti bubur bayi, makanan diet khusus, dan suplemen nutrisi dapat memanfaatkan albumin ikan haruan sebagai bahan fungsional yang berperan dalam meningkatkan kualitas gizi produk.

Walaupun ikan haruan mempunyai potensi besar sebagai sumber albumin alami, tetapi ditemukan beberapa tantangan untuk memanfaatkannya, seperti : 1) rantai pasok bahan baku yang konsisten; 2) teknologi pengolahan; 3) kesadaran dan pemahaman masyarakat masih rendah akan manfaat ikan haruan sebagai bahan pangan fungsional; 4) regulasi dan standarisasi produk. Dengan adanya tantangan ini, diperlukan penelitian lebih lanjut serta inovasi teknologi untuk meningkatkan pemanfaatan albumin

ikan haruan secara lebih luas sehingga dapat dipasarkan secara global.

Kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan industri diperlukan dalam merumuskan regulasi serta kebijakan yang mendukung pengembangan ikan haruan sebagai komoditas lokal unggulan. Keterlibatan UMKM dalam pengelolaan komoditas lokal perlu didorong dan didukung melalui kebijakan-kebijakan seperti pelatihan inovatif yang berfokus pada pengembangan pangan fungsional berbasis protein ikan haruan agar memiliki daya saing di pasar.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wataala, karena dengan karunia-NYA, naskah orasi ilmiah dengan judul :

“PROSPEK IKAN HARUAN (*Channa striata*) SEBAGAI SUMBER ALBUMIN DALAM PENGEMBANGAN PRODUK PANGAN FUNGSIONAL BERBASIS POTENSI LOKAL” dapat diselesaikan dengan baik. Naskah orasi ilmiah disampaikan pada acara Sidang terbuka pengukuhan Guru Besar dilingkungan Universitas Mulawarman. Di dalam naskah ilmiah ini akan membahas tentang ikan haruan sebagai sumber daya lokal yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi pangan fungsional berbasis protein, dengan penekanan pada penerapan prinsip-prinsip keamanan pangan dan keberlanjutan guna meningkatkan daya saing di pasar global.

Sebagai Guru Besar dalam bidang Pengolahan Hasil Perikanan Berbahan Lokal, saya memiliki kewajiban untuk mengembangkan bidang keilmuan tersebut demi kesejahteraan manusia. Sebagai Guru Besar saya diamanahkan dalam memikul tanggung jawab di bidang keilmuan Pengolahan Hasil Perikanan, agar mampu mengembangkan keunggulan dalam pelaksanaan Tridharma Pendidikan Tinggi.

Dalam rangka penyampaian Orasi Ilmiah ini, tentu banyak pihak yang terlibat, untuk itu kami sampaikan ucapan terimakasih kepada : Bapak rektor Universitas Mulawarman dan jajarannya, Ketua dan anggota senat Universitas Mulawarman serta panitia penyelenggara. Tidak lupa juga kami bertetimakasih kepada semua pihak yang berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan naskah orasi ilmiah ini. Kami menyadari bahwa masih ada kekurangan dan kesalahan dalam naskah orasi

ilmiah ini, oleh karena itu penulis mohon maaf atas kehilafan ini.

Diharapkan orasi ilmiah ini dapat memperkaya wawasan dan berkontribusi dalam pengembangan potensi lokal ikan haruan sebagai bahan pangan fungsional, sehingga dapat membuka peluang pasar yang lebih luas serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat, khususnya di Kalimantan Timur.

Wassalamualaikum,

Samarinda, 27 September 2025

Prof. Dr. Ir. Andi Noor Asikin, M.Si.



A. Pendahuluan

Ikan haruan atau ikan gabus (*Channa striata*) merupakan jenis ikan air tawar yang banyak dijumpai di perairan umum seperti sungai, danau dan rawa. Ikan ini telah lama dikenal secara luas oleh masyarakat Indonesia sebagai ikan konsumsi. Ikan haruan merupakan salah satu jenis ikan air tawar yang mempunyai kandungan albumin tinggi yang memiliki berbagai fungsi untuk kesehatan (Asikin dan Kusumaningrum 2018b). Ditambahkan oleh Romadhoni *et al.* (2015) dan Sari dan Rahmawati, (2022), keistimewaan ikan haruan terletak pada kandungan nutrisinya yang kaya akan protein, terutama albumin, yang berperan penting dalam berbagai fungsi biologis tubuh manusia dengan harga relative lebih murah (Romadhoni *et al.*, 2015; Sari dan Rahmawati, 2022).

Kalimantan Timur memiliki potensi sumber daya perikanan yang melimpah, mencakup perikanan laut, perikanan air tawar, serta perikanan budidaya. Salah satu jenis ikan air tawar yang banyak ditemukan di wilayah ini adalah ikan haruan, yang tersebar di hampir seluruh perairan umum. Menurut Asikin dan Kusumaningrum (2018a), ikan haruan merupakan salah satu spesies ikan lokal yang banyak ditemukan di perairan sungai Mahakam Tengah (DAS Mahakam) yang memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap perubahan lingkungan.

Menurut data KKP tahun 2021, produksi ikan haruan Kalimantan Timur mencapai 16.824,16 ton lebih tinggi dari produksi ikan haruan asal Kalimantan Selatan (12.891,23 ton) dan Kalimantan Tengah (1.927,82 ton). Ikan haruan masih didominasi oleh hasil tangkapan dari perairan alami, meskipun upaya budidaya telah dilakukan oleh masyarakat, namun masih berskala terbatas. Kelimpahan sumber daya ikan haruan menjadikannya sebagai pilihan

strategis untuk dikembangkan menjadi komoditas unggulan berbasis lokal.

Ikan haruan dengan kandungan gizi yang sangat baik, terutama proteinnya yang tinggi telah lama dimanfaatkan dalam bidang kesehatan dan pangan. Asikin dan Kusumaningrum (2017a) menyatakan bahwa sejak dahulu masyarakat lokal telah memahami khasiat ikan haruan dalam mempercepat proses penyembuhan luka. Oleh karena itu, ikan ini kerap dianjurkan untuk dikonsumsi oleh wanita setelah melahirkan serta oleh anak laki-laki setelah menjalani prosedur khitan. Sahid *et al.* (2018), ikan haruan telah digunakan sejak puluhan tahun lalu sampai saat ini sebagai obat tradisional untuk penyembuhan luka, dan dapat menyembuhkan luka pada tikus secara signifikan dengan memberikan gel yang diformulasi dengan 6% albumin *C. striata* (Puspita dan Suprayitno (2020). Fauzan *et al.* (2020) menemukan bahwa pasien yang menderita hipoalbuminemia, pemberian ekstrak *C. striata* menyebabkan peningkatan kadar albumin yang signifikan dari 2,95 menjadi 3,17 g/dL, sehingga meningkatkan asupan protein secara keseluruhan.

Pada bidang pangan, ikan haruan tidak hanya sekedar dimanfaatkan untuk pemenuhan gizi, terutama protein hewani, tetapi telah berkembang kearah pangan fungsional (Asikin dan Kusumaningrum, 2017b). Filtrat albumin dari ikan haruan berpotensi diimplementasikan dalam pengembangan produk pangan fungsional, khususnya sebagai suplemen pangan yang memiliki sifat fungsional dengan kandungan albumin dan protein yang tinggi (Sari dan Rahmawati, 2022). Albumin juga berfungsi sebagai pembawa senyawa-senyawa penting untuk metabolisme asam lemak, hormon, dan kalsium. Selain itu, albumin juga berperan dalam keseimbangan asam-basa (Kristianto, 2023).

Pemahaman terhadap manfaat ikan haruan tidak hanya terbatas pada perannya sebagai sumber nutrisi dalam bahan pangan, tetapi juga pada fungsi albumin

yang memiliki signifikansi bagi kesehatan. Oleh karena itu, Kalimantan Timur memiliki potensi besar sebagai daerah penghasil ikan haruan untuk mendukung pengembangan produk berbasis protein.

B. *Edible Portion* dan Kandungan Kimia Ikan Haruan

Berbagai jenis ikan dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan produk olahan, namun beberapa produk memerlukan kriteria atau spesifikasi tertentu dalam pemilihan bahan baku. Dalam pemanfaatan ikan, penting untuk mengetahui persentase bagian yang dapat dikonsumsi (*edible portion*) dan yang tidak dapat dimanfaatkan (*non-edible portion*). Pemahaman ini diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan ikan secara lebih efisien. Pada jenis ikan haruan, *edible portion* tergantung dari ukuran berat atau bobot/ekor, karena semakin berat ikan, maka semakin besar persentase *edible portion* ikan tersebut (Asikin dan Kusumaningrum, 2017). *Edible portion* ikan haruan berbagai berat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Edible portion* ikan haruan (*C. Striata*) pada berbagai kelompok berat

Kelompok	Berat (g)	Panjang total (cm)	<i>Edible portion</i> (%)
Besar	801-1100	43,6-50,2	42,1
Sedang	501-800	41,5-42,1	38,5
Kecil	200-500	27,8-33	36,2

Sumber : Asikin dan Kusumaningrum (2017).

Ikan haruan dengan ukuran bobot yang berbeda memiliki panjang tubuh serta proporsi tubuh yang berbeda pula, proporsi daging ikan haruan semakin besar sesuai dengan ukuran bobot ikan (Suwandi *et al.*, 2014). Menurut War *et al.* (2011), *edible portion* sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan ikan sedangkan

pertumbuhan ikan dipengaruhi oleh jenis kelamin, umur, faktor keturunan, dan ketersediaan makanan.

Ikan haruan mengandung protein tinggi terutama albumin dan asam amino esensial, lemak terutama asam lemak esensial, mineral terutama seng Zn dan beberapa vitamin yang sangat baik untuk kesehatan (Mustafa *et al.*, 2012). Kandungan gizi yang dalam daging ikan haruan memiliki nilai yang berbeda-beda. Kandungan kimia ikan haruan berdasarkan berat/bobot ikan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase kimia ikan haruan (*C. Striata*) pada berbagai kelompok berat

Kelompok berat (g)	Air (%)	Protein (%)	Lemak (%)	Abu (%)
Besar (801-1000)	77,34	18,12	2,20	0,91
Sedang (501-800)	77,17	17,83	2,43	0,74
Kecil (200-500)	78,63	17,28	1,99	0,72

Sumber :Asikin dan Kusumaningrum (2017)

Kadar air ikan haruan berkisar antara 77,17-78,63% (Tabel 2). Hasil penelitian Chasanah *et al.* (2015), menemukan bahwa kadar air ikan gabus alami hasil tangkapan lebih tinggi (78,88%) dan hasil budidaya lebih rendah (76,90%). Suwandi *et al.* (2014), menyatakan bahwa kadar air pada ikan sangat dipengaruhi oleh jenis makanan dan habitat hidupnya.

Kadar protein berkisar antara 17,28-18,12% (Tabel 2). Kadar protein pada Tabel 2 rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Suwandi *et al.* (2014) untuk berat 1 kg baik jantan maupun betina, tetapi untuk berat ikan gabus 500 gr baik jantan dan betina (17,44-18,01) tidak berbeda dengan kadar protein Tabel 2 (17,28-18,21%). Chasanah *et al.* (2015), proetin ikan haruan alami sebesar 19,85%, dan hasil budidaya 19,71%, sedangkan hasil penelitian Sa'ad and Muhtadi (2023) yaitu 11,8%.

Kadar lemak ikan haruan berkisar antara 1,99-2,43% (Tabel 2). Kadar lemak ikan haruan (Tabel 2) lebih tinggi dibandingkan dengan kadar lemak hasil

penelitian Suwandi *et al.* (2014) yaitu 0,09-0,90% pada ukuran ikan 0,5-1 kg dan hasil penelitian Chasanah *et al.* (2015) yaitu 0,44-2,65%.

Kadar abu hasil penelitian ini berkisar antara 1,36-1,79% (Tabel 2), lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Suwandi *et al.* (2014). Tetapi sesuai dengan hasil penelitian Chasanah *et al.* (2015), kadar abu ikan gabus berkisar antara 1,23-1,44%. Tsaniyatul *et al.* (2013), perbedaan kadar abu dipengaruhi oleh habitat hidup ikan haruan.

C. Albumin Ikan Haruan sebagai Bahan Pangan Fungsional

Dalam era globalisasi dan peningkatan kesadaran akan pentingnya kesehatan, kebutuhan akan pangan fungsional semakin meningkat. Pangan fungsional merupakan makanan yang tidak hanya menyediakan zat gizi esensial tetapi juga memberikan manfaat kesehatan tambahan bagi tubuh. Ikan haruan merupakan spesies yang dikenal memiliki nilai gizi tinggi, terutama karena kandungan albuminnya yang melimpah, sehingga sering dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional (Sahid *et al.*, 2018).

Ekstraksi albumin dari ikan haruan diharapkan dapat menjadi alternatif sumber albumin yang lebih murah untuk penggunaan klinis (Romadhoni *et al.*, 2015). Albumin dari ikan haruan mempunyai nilai ekonomis tinggi, karena memberikan beberapa manfaat dalam bidang kesehatan manusia, terutama dalam terapi penyembuhan luka bagi pasien pascaoperasi, penderita hipoalbuminemia, serta mereka yang mengalami gizi buruk (Hariati *et al.*, 2019; Mardiyah *et al.*, 2022). Albumin berfungsi untuk mempercepat regenerasi sel, meningkatkan daya tahan tubuh, serta membantu dalam distribusi hormon dan enzim dalam tubuh.

Variasi konsentrasi albumin bergantung pada beberapa faktor, antara lain jenis ikan, ukuran, tingkat

konsumsi pakan, ketersediaan pakan, dan tingkat pencernaan (Asikin dan Kusumaningrum, 2018a; Hariati *et al.*, 2019). Chasanah *et al.* (2015), menjelaskan bahwa tingginya kandungan albumin dipengaruhi oleh tingkat stress serta kondisi alam lingkungan tempat hidupnya. Asikin dan Kusumaningrum (2018b) menemukan bahwa kandungan albumin ikan haruan bervariasi antara 13.95 %-19.61 % tergantung berat ikan dan pelarut yang digunakan pada proses ekstraksi. Hasil penelitian Khasani dan Astuti (2019) menunjukkan bahwa kandungan albumin ikan haruan dari Sumatera, Jawa dan Kalimantan menunjukkan hasil tidak berbeda.

Keunggulan albumin terletak pada bioavailabilitas yang tinggi serta peran spesifiknya dalam mendukung kesehatan. Karakteristik ini menjadikannya sebagai pilihan utama untuk diaplikasikan dalam produk nutraseutikal dan bidang kesehatan (Nurfaidah *et al.*, 2024). Komposisi kimia albumin ((Asikin dan Kusumaningrum, 2018b), disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia ekstrak albumin (%) ikan haruan (*C. Striata*) berdasarkan berat ikan dan pelarut yang digunakan

Sampel	Kadar air	Kadar protein	Kadar lemak	Kadar abu
KA	12.16	63.79	1.74	16.91
KN	12.53	56.92	1.86	23.01
KH	12.18	59.24	1.20	21.93
SA	11.04	65.22	1.29	18.29
SN	11.19	60.21	1.42	22.69
SH	11.64	63.33	2.16	22.34
BA	9.63	67.67	0.75	18.02
BN	12.94	57.38	1.61	21.55
BH	12.48	63.59	1.44	21.83

Keterangan : Berat ikan : K, S, B (Kecil, Sedang, Besar);
Pelarut : A, N, H (Air, NaCl, HCl)

Kualitas albumin dipengaruhi oleh komposisi kimianya, yang dapat bervariasi akibat berbagai faktor. Salah satu faktor yang berperan dalam variasi tersebut adalah berat ikan dan jenis pelarut yang digunakan dalam proses ekstraksi (Asikin dan Kusumaningrum, 2018b).

Albumin memiliki profil asam amino yang lengkap, sehingga menjadikannya sumber protein berkualitas tinggi yang penting bagi nutrisi manusia (Nurfaidah *et al.*, 2024). Kandungan protein yang tinggi dan profil asam amino albumin *C. striata* berperan penting dalam regenerasi jaringan, menjadikannya pengganti yang ekonomis untuk serum albumin manusia (Mardiyah *et al.*, 2022). Ditambahkan oleh Wooster *et al.* (2018), ikan haruan mengandung senyawa bioaktif yang mempercepat penyembuhan luka seperti asam amino (glisin), mineral seng (Zn), dan asam lemak tak jenuh seperti omega-3, omega-6, dan omega-9. Jumlah asam amino albumin ikan haruan dengan berat sedang dan besar (800-1000 g) menggunakan pelarut air lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut NaCl dan HCl, berturut-turut 54,25%, dan 53,43, diikuti NaCl (46,39, 46,23%), dan HCl (38,83 dan 40,21%). Data selengkapnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Profil asam amino ekstrak albumin ikanN haruan (*C. Striata*) berbagai ukuran dan pelarut berbeda

Asam amino (%)	Jenis Pelarut/Berat ikan								
	Air			NaCl (0,9%)			HCl (0,1 M)		
	K	S	B	K	S	B	K	S	B
As. aspartat	5.51	7.44	7.43	5.74	6.17	6.43	5.26	5.42	5.52
As. glutamat	4.60	6.86	6.51	5.50	5.66	5.87	4.41	4.53	4.92
Serin	1.58	2.16	2.36	1.48	1.80	2.11	1.47	1.40	1.78
Histidin	0.67	1.37	1.35	0.07	1.06	1.09	0.74	0.73	0.85
Glisin	3.66	3.31	3.09	2.57	2.74	2.75	3.69	3.75	3.72
Treonin	1.56	2.19	2.22	1.11	2.07	1.94	1.64	1.60	1.77
Argenin	1.64	2.83	2.77	2.15	2.30	2.43	1.52	1.52	1.80
Alanin	3.43	4.22	4.05	3.58	3.54	3.65	3.40	3.41	3.64
Tirosin	0.94	1.39	1.67	1.46	1.48	1.27	0.79	0.64	0.80
Metionin	0.90	1.10	1.37	1.01	1.42	0.92	0.62	0.59	0.74
Valin	1.85	3.22	3.06	2.11	2.50	2.59	1.76	1.83	1.84
Phenilalanin	3.36	4.10	4.11	2.70	3.57	3.62	3.22	3.37	3.29

Asam amino (%)	Jenis Pelarut/Berat ikan								
	K	Air S	B	NaCl (0,9%)			HCl (0,1 M)		
				K	S	B	K	S	B
I-leusin	1.93	3.21	2.92	2.01	2.65	2.56	1.86	2.08	1.92
Leosin	3.38	4.98	5.00	4.24	4.10	4.28	3.14	3.28	3.27
lisin	4.35	5.89	5.52	3.67	5.32	4.75	4.84	4.69	4.37
Jumlah	39.37	54.25	53.43	39.41	46.39	46.23	38.36	38.83	40.21

Keterangan : Berat ikan : K (Kecil); S (Sedang); B (Besar).

Sumber : Asikin dan Kusumaningrum (2018b)

Profil asam amino albumin *C. striata* menunjukkan komposisi yang unik, karena didominasi oleh asam glutamat sebesar 14,97% (Nurfaidah *et al.*, 2024) dan hasil penelitian Asikin dan Kusumaningrum (2018b), meskipun lebih rendah (5,99%), tetapi tetap dominan diantara asam amino lainnya (Tabel 4). Hal ini mengindikasikan bahwa *C. striata* juga dapat memberikan rasa umami yang kuat dan mendukung fungsi kognitif melalui peran asam glutamat dalam transmisi sinyal saraf (Zhou dan Danbolt 2014). Jenis asam amino yang banyak pada albumin ikan haruan setelah asam glutamat adalah berturut-turut leusin (4,45%), alanin (3,90%), dan phenil alanin (3,85%) (Asikin dan Kusumaningrum 2018b). Kandungan lisin pada ikan sangat penting untuk sintesis protein, enzim, dan hormon (Xiao *et al.*, 2023) dan berperan penting dalam mendukung fungsi kekebalan tubuh. Kadar fenilalanin dan metionin yang penting untuk produksi neurotransmitter dan regulasi hormon.

D. Pengembangan Potensi Ikan Haruan sebagai Komoditi Lokal

Dalam konteks industri perikanan, budidaya ikan haruan juga memiliki prospek yang cerah untuk dikembangkan di masa akan datang dalam pemenuhan kebutuhan pasar. Ikan haruan menarik untuk dibudidayakan karena beberapa faktor, yaitu harga jual tinggi, pertumbuhan relatif cepat, toleran terhadap kepadatan tinggi, memiliki kemampuan *air-*

breathing (Akbar dan Iriadenta, 2021). Ikan haruan mempunyai sifat sebagai predator, spesies ikan ini merupakan organisme dengan daya toleransi yang tinggi terhadap lingkungan dapat hidup dalam kondisi yang ekstrem (rawa dengan kondisi kering) dengan cara membenamkan dirinya dalam lumpur dan kondisi oksigen terbatas (Mustafa *et al.*, 2012; Nursihan, *et al.*, 2020; Jamal *et al.*, 2022).

Ikan haruan dimanfaatkan tidak hanya sebagai sumber pangan, tetapi juga dalam bidang kesehatan. Pengembangan produk berbasis ikan haruan tidak hanya berkontribusi dalam meningkatkan nilai tambah bagi pembudidaya, tetapi juga berperan dalam memperluas peluang pasar. Pentingnya pemanfaatan ikan haruan menyebabkan permintaan terhadap ikan ini terus meningkat. Namun, produksi ikan haruan masih didominasi oleh hasil tangkapan dari perairan alami, sehingga meningkatnya intensitas penangkapan berpotensi menurunkan populasi ikan haruan di habitat aslinya.

Meskipun memiliki berbagai keistimewaan, pengembangan ikan haruan sebagai komoditas unggulan menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu kendala utama adalah keterbatasan dalam sistem budidaya, dan hingga kini masih bergantung pada hasil tangkapan dari perairan alami. Ketergantungan ini mengakibatkan fluktuasi pasokan, yang berpotensi memengaruhi stabilitas harga serta ketersediaan ikan haruan di pasar.

Upaya yang dapat dilakukan dalam mencegah menurunnya populasi ikan haruan di alam yaitu dengan cara melakukan domestikasi (Nursihan *et al.*, 2020). Upaya domestikasi dilakukan dengan mempertahankan agar ikan dapat hidup pada lingkungan akuakultur (wadah terbatas, lingkungan artificial, dan terkontrol (Djauhari *et al.*, 2022).

Budidaya ikan haruan dapat dilakukan di berbagai sistem, seperti kolam tanah, tambak, maupun sistem bioflok yang lebih efisien. Dengan teknik

budidaya yang baik, ikan haruan dapat diproduksi dalam jumlah besar untuk memenuhi permintaan pasar domestik bahkan internasional. Diperlukan inovasi dalam teknik budidaya yang lebih efisien, termasuk pemuliaan selektif untuk meningkatkan pertumbuhan dan kualitas ikan haruan yang dibudidayakan.

E. Penguatan Hilirisasi dan Peningkatan Nilai Tambah Ikan Haruan

Ikan haruan diketahui memiliki banyak keunggulan, tetapi pengembangan ikan haruan sebagai komoditas unggulan tidak terlepas dari berbagai tantangan. Oleh sebab karenanya, berbagai upaya domestikasi ikan haruan dilakukan untuk akuakultur dimasa depan. Karena menurut Mustafa *et al.* (2012), spesies ikan ini sangat prospektif terkait nilai ekonomis dan nutrisi penting yang tinggi, kandungan albumin karkas yang sangat bermanfaat untuk kesehatan. Disisi lain, perlu adanya peningkatan dan pengembangan dalam proses pengolahan dan diversifikasi produk berbasis ikan haruan sebagai sumber albumin alami agar dapat bersaing di pasar global.

Ikan haruan, selain mengandung albumin, juga kaya akan asam lemak omega-3 dan omega-6 yang bermanfaat bagi kesehatan jantung, serta mineral penting seperti zat besi, kalsium, dan fosfor yang berperan dalam pembentukan tulang dan meningkatkan sistem imun (Mustafa *et al.*, 2012; Sahid *et al.*, 2018). Profil gizi yang unggul pada ikan haruan memiliki potensi besar untuk dikembangkan dalam berbagai produk pangan fungsional. Pemanfaatan ini dapat mendukung diversifikasi produk serta meningkatkan nilai tambah ikan haruan. Namun, sampai saat ini pemanfaatan ikan haruan dalam industri pangan masih terbatas pada konsumsi segar dan beberapa olahan sederhana. Untuk itu, diperlukan inovasi dalam pengembangan pengolahan

produk turunan ikan haruan agar dapat menghasilkan produk pangan fungsional berbasis bahan lokal yang memiliki nilai tambah tinggi sehingga dapat menjangkau pasar yang lebih luas.

Beberapa produk pangan berbasis ikan haruan yang berpotensi dikembangkan antara lain: 1) Ekstrak albumin ikan haruan (seperti minuman fungsional atau makanan siap konsumsi yang diperkaya albumin; 2) Suplemen albumin dalam bentuk kapsul atau tablet, merupakan produk alternatif bagi masyarakat yang membutuhkan tambahan protein berkualitas tinggi, terutama bagi pasien dengan defisiensi albumin; 3) Produk olahan seperti nugget, sosis, bakso, empek-empek, serta makanan modern seperti odeng (Korea) dan gyoza (Jepang) dapat menjadi alternatif bagi individu yang ingin memperoleh manfaat albumin tanpa harus mengonsumsi ikan dalam bentuk segar; 4) Bubur dan makanan bayi berbasis protein. Pengembangan inovatif produk bubur bayi yang difortifikasi dengan ikan haruan dapat dijadikan alternatif strategis untuk meningkatkan asupan protein serta mendukung tumbuh kembang anak.

Dalam usaha pengembangannya sebagai pangan fungsional, terdapat beberapa tantangan diantaranya : 1) rantai pasok bahan baku yang konsisten. Bahan baku umumnya masih diperoleh dari usaha penangkapan, oleh sebab itu peningkatan usaha budidaya intensif untuk memenuhi kebutuhan industri; 2) teknologi pengolahan. Pengolahan ikan haruan menjadi produk pangan fungsional memerlukan teknologi yang tepat untuk menjaga kandungan nutrisinya tetap optimal; 3) kesadaran masyarakat terhadap manfaat ikan haruan sebagai sumber protein berkualitas masih tergolong rendah, terutama karena pemahaman mengenai peran albumin dalam kesehatan belum tersebar secara luas. Diperlukan upaya edukasi melalui diseminasi produk berbasis ikan haruan dan promosi yang lebih luas mengenai manfaat konsumsi ikan haruan sebagai

pangan fungsional; 4) regulasi dan standarisasi produk. Untuk dapat bersaing di pasar global, produk harus memenuhi standar keamanan pangan yang ketat. Oleh karena itu, proses sertifikasi dan standarisasi produk menjadi aspek krusial dalam meningkatkan daya saing di pasar.

Keterlibatan para pihak diharapkan dapat mewujudkan pemanfaatan potensi lokal untuk kesejahteraan masyarakat dengan meningkatkan nilai ekonomi di sektor perikanan dan memperkuat ketahanan pangan. Pemerintah dan akademisi perlu berkolaborasi dengan industri dalam merumuskan regulasi dan kebijakan yang mendukung pengembangan ikan haruan sebagai komoditas lokal unggulan. Keterlibatan usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) perlu didorong serta difasilitasi melalui pelatihan inovatif yang mencakup diversifikasi produk olahan, pengembangan pangan fungsional, teknologi pengemasan, strategi pemasaran (tradisional – digital), standarisasi dan sertifikasi, dan aspek perizinan dan regulasi lainnya.

F. Kesimpulan

Ikan haruan merupakan sumber albumin alami yang memiliki potensi besar sebagai komoditas unggulan berbasis lokal. Kandungan nutrisinya yang tinggi, terutama albumin, menjadikannya sebagai salah satu bahan pangan fungsional yang memiliki nilai tambah tinggi bagi kesehatan. Pengembangan ikan haruan dalam skala industri, baik melalui budidaya maupun diversifikasi produk olahan, menjadi peluang besar dalam memperkuat ketahanan pangan dan meningkatkan nilai ekonomi sektor perikanan. Namun, untuk mencapai keberhasilan tersebut, perlu adanya dukungan dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, akademisi, industri (masyarakat pelaku UMKM), dalam mengoptimalkan budidaya, pengolahan, dan pemasarannya. Dengan langkah-

langkah strategis yang tepat, ikan haruan dapat menjadi komoditas lokal yang tidak hanya bernilai ekonomi tinggi tetapi juga memberikan manfaat kesehatan dan dampak yang lebih luas bagi masyarakat.



DAFTAR PUSTAKA

- Asikin AN., dan Kusmaningrum I. 2017. *Edible Portion dan Kandungan Kimia Ikan Gabus (Channa Striata) Hasil Budidaya Kolam Di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur*. Ziraa'ah, 42(3):158-163. e-ISSN 2355-3545.
- Asikin AN., dan Kusmaningrum I. 2018a. Karakteristik ekstrak protein ikan gabus berdasarkan ukuran berat ikan asal DAS Mahakam Kalimantan Timur. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 21(1): 137-142. DOI: 10.17844/jphpi.v21i1.21462.
- Asikin AN., dan Kusmaningrum I. 2018b. Albumin profile of snakehead fish (*Channa striata*) from East Kalimantan, Indonesia. 1st International Conference on Tropical Studies and Its Application (ICTROPS). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 144 (2018) 012035. doi :10.1088/1755-1315/144/1/012035.
- Chasanah E, Nurilmala M, Purnamasari AR., Fithriani D. 2015. Komposisi kimia, kadar albumin dan bioaktivitas ekstrak protein ikan gabus (*Channa striata*) alam dan hasil budidaya. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 10(2): 123-132.
- Djauhari R., Siburian E. L. S., Wirabakti M. C., Monalisa S. S., & Christiana I. 2022. Kinerja Petumbuhan Ikan Gabus (*C. striata*) yang Diberi Prebiotik Madu dan Prebiotik *L. paracasei*. *Jurnal Perikanan* 12(3):457-466. <http://doi.org/10.29303/jp.v12i3.344>
- Fauzan MR, Dahlan C K., Taslim NA., & Syam A. 2020. The effect of giving fish extract (*Pujimin plus*) on intake of protein and hemoglobin hypoalbuminemic patients. *Enferm Clin* 30: 452-255. DOI:10.1016/J.ENFCLI.2020.03.009
- Hariati A. M., Endariani A. Y., Kusuma W. E., Wiadnya D. G. R., 2019 Albumin and enzyme profiles of dwarf snakehead, *Channa gachua* caught from

- River Brantas, East Java. Journal of Physics: Conference Series 1146:1-5
- Romadhonia AR, Afriantoa E, Pratamaa RI, Grandiosa R. 2015. Extraction of Snakehead Fish [Ophiocephalus striatus (Bloch, 1793)] Into Fish Protein Concentrate as Albumin Source using Various Solvent. 2nd International Symposium on Aquatic Products Processing and Health, ISAPPROSH 2015. Aquatic Procedia 7: 4 – 11. www.elsevier.com/locate/procedia
- Sa'ad and Muhtadi. 2023. Protein Profiles of Snakehead (*Channa striata*), Catfish (*Pangasius hypophthalmus*), and Mackerel (*Rastrelliger spp.*) and Their Effectiveness as Antidiabetic Agents. A. Sri Wahyuni et al. (Eds.): ICB-Pharma 2022, AHPCS 3, pp. 189–197, 2023. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-050-3_16
- Sahid, N. A., Hayati. H., Venkata, C., Rao, Ramely, R., Ikhwan Sani, I., Dzulkarnaen, A., Zakaria, Z., Hassan, S., Zahari, A., and Ali, A. A. 2018. Snakehead Consumption Enhances Wound Healing from Tradition to Modern Clinical Practice: A Prospective Randomized Controlled Trial. 2018. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, (2018):1-9. Hindawi. <https://doi.org/10.1155/2018/3032790>.
- Sari, D. K, dan Rahmawati, H. 2022. Profile Albumin and Protein Filtrate of Snakehead Fish. Trop. Wetland J. 2022: 8(2): 16-20. DOI:10.20527/twj.v8i2.112
- Suwandi, R., Nurjanah, dan Winem M. 2014. Proporsi Bagian Tubuh Dan Kadar Proksimat Ikan Gabus Pada Berbagai Ukuran. JPHPI, 17 (1): 22-28.
- War. M., Altaff. K, Abdulkhader H. M. 2011. Growth and survival of larval snakehead *Channa striatus* (Bloch 1793) fed different live feed organisms. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 11:523-528

- Khasani, I and Astuti, D. N . 2019. Albumin level, growth and survival rate of snakehead fish (*Channa striata*) from three islands of Indonesia. AACL Bioflux, Volume 12, Issue 5. <http://www.bioflux.com.ro/aacL>
- Kristianto Y., Rahman N, I Dewa N. Supariasa I. D. N. 2023. Development of snakehead fish (*Channa striata*) albumin extract capsules. AACL Bioflux, 2023, Volume 16, Issue 6. <http://www.bioflux.com.ro/aacL>
- Nurfaidah¹, Asikin, Kasmiati, Angraeni. 2024. Amino acid profile and potential utilization purposes of albumin from four types of freshwater fish in Makassar, South Sulawesi, Indonesia. Biodiversitas. 25 (11): 4199-4207. DOI: 10.13057/biodiv/d251119
- Nursihan, M., Damayanti, A. A., dan Lestari, D. P. 2020. Pengaruh Tingkat Ketinggian Air Media Pemeliharaan Terhadap Kelangsungan Hidup Dan Pertumbuhan Benih Ikan Gabus (*Channa Striata*). Jurnal Perikanan 10(1): 84-91 DOI: <https://doi.org/10.29303/jp.v10i1.181>
- Mustafa A., Widodo M. A., & Kristianto Y. (2012). Albumin and zinc content of snakehead fish (*Channa striata*) extract and its role in health. IEEESE International Journal of Science and Technology, 1(2), 1
- Xiao CW, Hendry A, Kenney L, & Bertinato J. 2023. L-Lysine supplementation affects dietary protein quality and growth and serum amino acid concentrations in rats. Sci Rep 13: 19943. DOI:10.1038/s41598-023-47321-3.
- Puspitasari D, Suprayitno D. 2020. The effect of giving fish cork albumin gel (*Channa striata*) to the mice wound closure. Intl J Sci Res Publ 10 (7):571-578. DOI: 10.29322/IJSRP.10.07.2020.p10360
- Mardiyah S, Olifia MW, Puspitasari P, Nur VP, Etik W. 2022. Analysis of albumin levels in cork and eel fish using the spectrophotometry method. Gaceta

- Médica de Caracas 130 (Supl 1): S149-S155.
DOI:10.47307/GMC.2022.130.s1.27.
- Wooster, M. J., Gaveau, D., Salim, M. A., Zhang, T., Xu, W., Green, D. C., Huijnen, V., Murdiyarso, D., Gunawan, D., & Borchard, N. 2018. New tropical peatland gas and particulate emissions factors indicate 2015 Indonesian fires released far more particulate matter (but less methane) than current inventories imply. *Remote Sensing*, 10(4), 495.
- Zhou Y, Danbolt NC. 2014. Glutamate as a neurotransmitter in the healthy brain. *J Neural Transm (Vienna)* 121 (8): 799-817.
DOI:10.1007/s00702-014-1180-8.
- Jamal B. F., Umar N. A., Budi S. 2022. Analysis of The Albumin Content of Snow Fish (*Channa Striata*) in River and Swamp Habitat In Marowali. *J. of Aquac. Environment* Vol 5(1) 14-20. DOI: 10.35965/jae.v5i1.1951
- Akbar J., dan Iriadenta E. 2021. Peningkatan Mutu Dan Produksi Ikan Gabus (*Channa striata*) Di Kelompok Pembudidaya Ikan Harapan Kita Desa Jejangkit Muara. *Jurnal Abdi Insani Universitas Mataram* 8 (1). <http://abdiinsani.unram.ac.id>. e-ISSN : 2657-0629

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah Robbil Aalamiin,
Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wataala. Shalawat dan salam tertuju kepada sayyidina Muhammad, keluarga dan sahabat-sahabat beliau.

Dalam perjalanan karier akademik hingga gelar Guru Besar dapat kami raih, banyak pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini ijin kami menyampaikan terimakasih dan rasa cinta yang tidak terbatas kepada: Ayahanda H. Andi Makkulau (Alm) dan Ibunda Hj. Andi Besse (Almh) yang telah mendidik, mendoakan dan memberikan suritauladan. Bapak mertua (alm) dan ibu mertua (almh) yang selalu mendukung dan mendoakan. Semoga Beliau mendapatkan tempat terbaik di Syurga-NYA Allah SWT. Aamiin. Suami tercinta yang selalu mendoakan dan kebersamaan dengan penuh kesabaran dalam berjuang : H. Drh. Syaiful Akhyar, M.Si. Anak kami terkasih yang selalu memberikan dukungan dan semangat : Syaif Andra, S.Kom., dr. Andini Agustyana, Agus Syaifullah, S.P.W.K dan kakanda Andi Nurhasanah, S.E., M.AB., serta seluruh keluarga yang selalu memberikan bantuannya.

Ucapan terimakasih setinggi-tingginya atas raihan Guru Besar ini juga kami sampaikan kepada: Rektor Universitas Mulawarman dan jajarannya, civitas akademika FPIK Universitas Mulawarman, KemenRistekdikti, guru, dosen, pembimbing, promotor, teman sejawat, teknisi/laboran, mahasiswa, dan semua sahabat, untuk semua bantuan dan dukungannya. Terimakasih khusus kepada Indrati Kusumaningrum, S.Pi., M.Sc., dan M. Taufik, S.Pi, M.Si yang senantiasa membantu dan menyemangati. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada kami. Aamiin.

CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Dr. Hj. Andi Noor Asikin, M.Si.
NIP : 19630313198803 2001
NIDN : 0013036304
Tempat, Tanggal
Lahir : Muara Badak. 13 Maret 1963
Agama : Islam
Email : asikin63@yahoo.com
No HP : 081347013936
Fakultas : Perikanan dan Ilmu Kelautan
Pangkat, Gol. : Pembina Utama Muda, IV/c
Jabfung, TMT : Guru Besar, 1 Desember 2025
TMT Golongan : 1 Oktober 2006
ID SINTA : 6009750
ID SCOPUS : 57201199976

RIWAYAT PENDIDIKAN

Program	S1	S2	S3
Nama PT	Universitas Mulawarman	Institut Pertanian Bogor	Universitas Diponegoro
Bidang Ilmu	Budidaya Perikanan	Teknologi Pascapanen	Manajemen Sumberdaya Pantai

RIWAYAT JABATAN

Nama jabatan	Tahun Aktif
Pembantu Dekan II FPIK Unmul	2004-2009
Ketua Konsentrasi Teknologi Hasil Perikanan FPIK	2004-2009
Kepala Laboratorium Teknologi Hasil Perikanan FPIK	2004- sekarang

RIWAYAT PENELITIAN

Tahun	Judul Penelitian	Sumber dana
2016	Pemanfaatan Tulang Ikan Belida untuk Fortifikasi Kalsium Pada Olahan Kerupuk	Penelitian Hibah Bersaing Dikti
2016	Pengembangan Kawasan Minawisata Andalan di Kabupaten Bulungan	Pemda Kab. Bulungan
2017	Metode Preparasi dan Ekstraksi Nano Albumin Ikan gabus Asal DAS Mahakam (Tahun ke-1)	Hibah Penelitian Kompetitif Dikti
2017	Pemanfaatan Bioaktif Mangrove sebagai Antimikroba, Immunostimulan dan Untuk Mempertahankan Mutu Udang Pacpanen	Hibah Penelitian Dikti
2018	Metode Preparasi dan Ekstraksi Nano Albumin Ikan gabus Asal DAS Mahakam (Tahun ke-2)	Hibah Penelitian Kompetitif Dikti
2018	Karakteristik Karagenan <i>K. alvarezii</i> pada berbagai Umur Panen Asal Kota Bontang, Kalimantan Timur serta Aplikasinya pada Bakso Ikan (Tahun I)	Hiban Penelitian IDB, Unmul
2018	Pemanfaatan Bioaktif Mangrove sebagai Antimikroba, Immunostimulan dan Untuk Mempertahankan Mutu Udang Pacpanen	Hibah Penelitian Dikti

Tahun	Judul Penelitian	Sumber dana
2018	Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Lamun dan Rumput Laut dari Perairan Bontang Kuala Kalimantan Timur	Penelitian BOPTN
2019	Karakterisasi Karagenan <i>K. alvarezii</i> pada berbagai Umur Panen Asal Kota Bontang, Kalimantan Timur serta Aplikasinya pada Bakso Ikan (Tahun II)	Hibah Penelitian IDB
2019	Fortifikasi Sumber Kalsium dari Tepung Tulang Ikan Terhadap karakteristik Produk Pangan	Penelitian BOPTN
2019	Pemanfaatan Bioaktif Mangrove sebagai Antimikroba, Immunostimulan dan Untuk Mempertahankan Mutu Udang Pacpanen	Hibah Penelitian Dikti
2020	Karakteristik <i>cookies</i> dengan Penambahan Tepung Tulang Ikan Belida	Penelitian BOPTN, Unmul
2021	Potensi Nyiri (<i>Xylocarpus granatum</i>) sebagai Neutraceutical, Additives dan Kosmetika	Penelitian BOPTN, Unmul
2022	Potensi Nyiri (<i>Xylocarpus granatum</i>) sebagai Antibakteri	Penelitian BOPTN, Unmul
2023	Pemanfaatan rumput laut Gracillaria untuk produk es krim	Penelitian BOPTN, Unmul
2024	Karakteristik Fisikoki-mia Kitin dari Kepala Udang Windu (<i>Penaeus monodon</i>)	Penelitian BOPTN, Unmul

Tahun	Judul Penelitian	Sumber dana
	Berdasarkan Perendaman Lama	

RIWAYAT PENULISAN KARYA ILMIAH

Tahun	Judul Penelitian	Nama Jurnal
2015	Ekstraksi Dan Karakterisasi Sifat Fungsional Karaginan <i>Kappaphycus Alvarezii</i> Asal Pesisir Kabupaten Kutai Timur.	Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis
2015	Kandungan Gizi dan Logam Berat Terasi Udang rebon Dari Bontang Kuala Kota Bontang.	Media Sains Kopertis Wila-yah XI Kalimantan
2016	Quality Changes During Postharvest Handling Chain of Black Tiger Shrimp from Brakish Water Pond in Mahakam Delta	Proceeding International Conference on Food, Agricul-ture and Culi-nary Tourism
2016	Karakteristik Kerupuk Ikan Fortifikasi Kalsium dari Tulang Ikan Belida	Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia
2016	Uji Organoleptik Amplang Ikan Bandeng (Chanos-chanos F) Yang Difortifikasi Dengan Tepung Tulang Ikan Belida	Media Sains

Tahun	Judul Penelitian	Nama Jurnal
2017	Edible portion kandungan kimia ikan gabus (<i>Channa sirata</i>) hasil budidaya kolam di Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur	Ziraa'ah Maja-lah Ilmiah Pertanian
2017	Kadar Kalsium dan uji Kesukaan Kerupuk Fortifikasi Tepung Tulang Ikan Belida sebagai Sumber Kalsium	Prosiding
2018	Karakteristik Ekstrak Ikan Gabus Berdasarkan Ukuran Berat Ikan Asal DAS Mahakam Kaltim	Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia
2018	Albumin profile of snakehead fish (<i>Channa striata</i>) from East Kalimantan, Indonesia	Proceeding
2018	Tanaman Bakau Api-Api Putih (<i>A. marina</i>) Berpotensi Menghambat Mikro Patogen dan Melindungi Post Larva Udang Windu	Jurnal Veteriner
2018	Mangrove plants species from Delta Mahakam, Indonesia with antimicrobial potency	Biodiversitas

Tahun	Judul Penelitian	Nama Jurnal
2019	Karakteristik Fisikokimia Karagenan berdasarkan Umur Panen dari Perairan Bontang	Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia
2019	Effect of Knife Fish Bone Powder Addition on Characteristic of Starch and Seaweed Kerupuk as Calcium and Crude Fiber Source	CurrRes Nutr Food Sci.
2019	The potential of Rhizopora mucronata extracts to protect tiger prawn from pathogenic infections	Proceeding
2020	Pengembangan Kewirausahaan di Universitas Mulawarman Untuk Mencetak Wirausaha Muda Yang Inovatif	Jurnal Pengabdian UntukMu NegeRI
2020	Extract To Inhibits Microbes and Protects The Post Larvae of Tiger Shrimp (<i>P. Monodon</i> F)	Proceeding
2020	Characteristics of fish ball on various concentration of carrageenan form different harvest time of <i>K. alvarezii</i>	Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research

Tahun	Judul Penelitian	Nama Jurnal
2021	Uji organoleptik cookies fortifikasi kalsium dari tulang ikan belida (<i>Chilata lopis</i>)	Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan
2021	Penerimaan konsumen terhadap kaldu bubuk dari kepala udang windu (<i>P. Monodon</i>) dengan berbagai bahan pengisi	Media Teknologi Hasil Perikanan
2022	Aplication of phyto-stimulants for groeth, survival rate, and meat quality improvement of tiger shrimp (<i>P. monodon</i>) maintained in a traditional pond	Pathogens
2023	Traditional polyculture as a mangrove restoration solution in Mahakam Delta	Conference Series Earth and Environmental Science
2023	Penerimaan konsumen terhadap kerupuk komersial berdasarkan perbedaan bahan baku dari UMKM di Kutai Kartanegara	Jurnal Perikanan
2024	Karakteristik Fisiko Kimia Kerupuk produk UKM Kutai kartanegara	Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia
2024	Chemical Characteristics of butter cookies with	Food Research

Tahun	Judul Penelitian	Nama Jurnal
	knife-fish bone flour addition as a healthy snack of high calcium	
2024	Amino acid profile and potential utilization purposes of albumin from four types of fresh water fish in Makassar, South Sulawesi, Indonesia	Biodiveritas

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

Tahun	Judul Pengabdian	Tempat
2015	Bimbingan dan Penerapan SNI Bagi UMKM di Kaltim	Samarinda
2016	Penanganan Pascapanen Ikan Air Tawar	Samarinda
2016	Kegiatan Pembekalan KKN Angkatan 42 FPIK Unmul	FPIK Unmul Samarinda
2016	Peningkatan Mutu Hasil Pengolahan dalam Menghadapi MEA	DKP Prov. Kaltim. Samarinda
2017	Penyuluhan Budidaya Ikan Air Tawar Pada Kelompok Pembudidaya Ikan Sumberjaya	Kec. Loa Kulu Kab. Kukar
2018	Pemberdayaan Masyarakat Desa di Sektor Pengolahan dan Pemasaran Produk Perikanan	Samarinda
2019	Pemberdayaan masyarakat pesisir : Penguatan kapasitas kelompok wani-ta pengolahan hasil perikanan dan penguatan kapasitas manajemen administrasi KSM	Kec. Ma-Badak dan Kec. Anggana Kab. Kukar

Tahun	Judul Pengabdian	Tempat
2019	Pemberdayaan Kelompok Tani Hutan Keliran Bersinar : Pelatihan Pengolahan Albumin Ikan Gabus (UPTD KPHP DAS Belayan Dinas Kehutanan Prov. Kaltim)	Desa Tuana Tuha Kec. Kenohan. Kabupaten Kutai Barat
2019	PPK Pengembangan Kewirausahaan di Unmul (Dibiayai : Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat – DIKTI)	Unmul. Samarinda
2020	Peningkatan Kapasitas Masyarakat Perikanan di Desa Sidomulyo Kecamatan Anggana Kab. Kutai Kartanegara	Desa Sidomulyo, Kukar
2020	Strategi Perkembangan Produk Perikanan Kaltim di tengah Pandemi Covid 19	Samarinda
2020	Peran Inkubator Bisnis Dalam Komersialisasi Produk Inovasi Perguruan Tinggi	Samarinda
2021	Pelatihan Pengolahan Ikan pada Wanita nelayan di Muara Badak	Desa Sambera, Kukar
2022	Pengolahan Produk Perikanan pada 7 Desa di Kecamatan Loa Kulu	Kecamatan Loa Kulu, kukar
2023	Sosialisasi Olahan Produk Perikanan. Program Olahbebaya, Pemkot Samarinda TA. 2023	Kecamatan Sungai Kunjang Samarinda
2023	Pelatihan pengolahan berbahan dasar ikan tangkapan samping bagi	Kecamatan Muara Badak, Kukar

Tahun	Judul Pengabdian	Tempat
	kelompok ibu-ibu di kelurahan Badak Baru	
2024	Pengolahan Produk Perikanan Bagi Ibu-ibu. Program Olahbebaya, Pemkot Samarinda	Kecamatan Sungai Kunjang Samarinda
2024	Pengolahan Produk Perikanan bagi Kelompok Wanita	Kecamatan Palaran, Samarinda
2025	Pelatihan Keterampilan Wirausaha Muda Pemula	Kota Bontang

RIWAYAT MENGIKUTI SEMINAR

Tahun	Nama Seminar	Tempat
2021	International Conference of Fisheries and Marine 2021 & The 13 th Indonesia Fisheries Processing Community (MPHPI) Scientific Meeting.	Banjarmasin Kalimantan Selatan
2022	Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan dan rapat Kerja MPHPI	Samarinda Kaltim
2023	Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan dan rapat Kerja MPHPI	Kota Tanjung Pinang, Kep. Riau
2024	Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan dan rapat Kerja MPHPI	Universitas Padjadjaran Bandung

RIWAYAT MENGIKUTI SERTIFIKASI

Tahun	Nama Setifikasi Kompetensi	Lembaga
2022	Pendamping UMKM	BNSP
2022	Kewirausahaan Industri	BNSP
2024	Ahli Pengolahan Perikanan	BNSP
2024	Asesor Kompetensi	BNSP
2025	Ahli K3	BNSP

Tahun	Nama Setifikasi Kompetensi	Lembaga
2025	Pemasaran UMKM	BNSP

RIWAYAT KEIKUTSERTAAN PADA ORGANISASI

Nama Organisasi	Tahun Aktif
UPT. Perkasa Unmul	2017- sekarang
MPHPI Kalimantan Timur	2019 - sekarang
PATPI Kalimantan Timur	2021- sekarang
Pergizi Kalimantan Timur	2022- sekarang
PP UMI Kalimantan Timur	2023 - sekarang





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. H. Irwansyah, M.M.

PERAN TEKNOLOGI KEUANGAN DALAM TATA
KELOLA KEUANGAN DAN KINERJA KEUANGAN
PERUSAHAAN

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. H. Irwansyah, S.E., M.M.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR ii

DAFTAR ISI.....iii

SINOPSIS.....1

A. PENDAHULUAN 3

B. TINJAUAN TEORI 4

 1. Unified Theory of Acceptance and Use of
 Technology (UTAUT).....4

 2. Teknologi Keuangan.....5

 3. Tata Kelola Keuangan 7

 4. Kinerja Keuangan Perusahaan 7

C. PERAN TEKNOLOGI KEUANGAN DALAM TATA
KELOLA KEUANGAN DAN KINERJA KEUANGAN.....7

 1. Perkembangan Fintech pada Dunia Industri 8

 2. Peluang dan Hambatan Fintech 10

 3. Implementasi Teknologi Keuangan dalam Kinerja
 Keuangan 13

 4. Peran Keterkaitan Fintech dalam Tata Kelola
 keuangan dan Kinerja Keuangan 15

D. SIMPULAN.....18

DAFTAR PUSTAKA 20

UCAPAN TERIMA KASIH 24

CURRICULUM VITAE 26

SINOPSIS

Prof. Dr. H. Irwansyah, SE., MM mendapatkan gelar guru besar dalam bidang Keuangan Perusahaan dan Pasar Modal.

Keuangan perusahaan dan pasar modal mencakup berbagai aspek keuangan meliputi kinerja keuangan, analisis laporan keuangan, perencanaan keuangan, pengelolaan keuangan, pengelolaan arus kas, investasi dan pengelolaan risiko perusahaan

Pengetahuan keuangan perusahaan dan pasar modal memungkinkan dunia industri berkembang lebih cepat, meningkatkan daya saing, dan mendorong inovasi serta memahami sumber pendanaan bagi industri dalam meningkatkan investasi melalui pasar modal. Selain itu juga keuangan perusahaan dan pasar modal memberi manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan terutama dalam pengembangan teori ekonomi, manajemen keuangan, kebijakan keuangan, dan inovasi teknologi keuangan

Salah satu isu terbaru terkait dengan keuangan perusahaan dan pasar modal adalah Peran Teknologi Keuangan dalam Tata Kelola Keuangan dan Kinerja Keuangan Perusahaan. Integrasi teknologi keuangan berperan besar dalam mempermudah tata kelola keuangan dan meningkatkan kinerja keuangan melalui inovasi teknologi yang meningkatkan efisiensi, transparansi, dan aksesibilitas layanan keuangan. Teknologi keuangan tidak hanya membantu individu dan organisasi dalam pengelolaan keuangan secara efisien, tetapi juga memberikan keunggulan kompetitif dalam pengelolaan keuangan dan meningkatkan kinerja keuangan perusahaan dalam jangka panjang. Perjalanan Riset terkait Keuangan perusahaan dan pasar modal dimulai sejak sejak Tahun 2003 sampai saat ini. Hasil penelitian telah di publikasikan pada Seminar nasional, Seminar Internasional, jurnal ilmiah

internasional bereputasi dan jurnal ilmiah nasional terakreditasi SINTA.



A. PENDAHULUAN

Integrasi keuangan dan teknologi, yang secara umum disebut sebagai FinTech, telah muncul sebagai kekuatan transformatif yang membentuk kembali lanskap operasi bisnis global modern. Inovasi disruptif oleh FinTech telah menyebabkan perubahan signifikan dalam masyarakat, khususnya dalam keuangan perusahaan dan aktivitas inovasi (Dong dan Yu 2023; Lu et al. 2024). Faktor-faktor penting ini memengaruhi kerangka operasional bisnis, yang menginformasikan struktur organisasi dan efisiensi keseluruhannya dan, pada gilirannya, memengaruhi kinerja keuangannya.

Transformasi teknologi telah mengubah parameter model bisnis di seluruh dunia. Dunia menghadapi tantangan yang rapuh (Gunasekaran et al., 2016; Kuo et al., 2006) dan memerlukan pendekatan manajemen proaktif untuk mengelolanya (Sharma et al., 2010). Pendekatan tradisional untuk menyediakan layanan kini telah diubah menjadi platform digital. Teknologi Finansial (fintech) menunjukkan penggunaan teknologi untuk menghasilkan kenyamanan finansial yang kreatif dan unggul (Thakor, 2020). Perusahaan fintech, yang mewujudkan kemajuan teknologi, beroperasi di sektor keuangan. Sektor teknologi finansial telah mengalami pertumbuhan signifikan dalam inovasi digital dan teknologi selama sepuluh tahun terakhir (Phan et al., 2020).

Persaingan dalam industri Fintech telah menjadi sangat kompleks dengan pesatnya perkembangan teknologi canggih dan memberikan tekanan tinggi pada profitabilitas perusahaan Fintech (Suprun et al., 2020; Zveryakov et al., 2019). Mengeksplorasi faktor-faktor yang memengaruhi profitabilitas perusahaan merupakan bidang penelitian penting dalam keuangan, dan berbagai alat, seperti keputusan penataan modal, pembayaran, dan dividen (Agarwal & Zhang, 2020; Allen et al., 2021)

Peningkatan efisiensi ini tidak hanya meningkatkan kinerja dengan memungkinkan mereka memproses lebih banyak dengan akurasi yang lebih tinggi, tetapi juga menguntungkan perusahaan dengan menyediakan akses yang lebih cepat ke modal yang diperlukan (Guo, Cheng, dan Shen 2024). FinTech juga memainkan peran penting dalam meningkatkan tata kelola perusahaan.

Teknologi canggih memfasilitasi transparansi dan akuntabilitas yang lebih baik dalam perusahaan dengan menyediakan data dan analitik waktu nyata yang dapat digunakan untuk tujuan pemantauan dan pelaporan (Ferilli et al. 2024). Lebih jauh lagi, salah satu manfaat FinTech yang paling signifikan adalah kemampuannya untuk meringankan kendala pembiayaan yang dihadapi oleh perusahaan. Platform FinTech, seperti pinjaman peer-to-peer dan crowdfunding, memungkinkan perusahaan untuk melewati sistem tradisional dan menjangkau kumpulan investor global. Hal ini meningkatkan ketersediaan modal dan memastikan alokasi modal yang lebih efisien (Bollaert, Lopez-de-Silanes, dan Schwienbacher 2021).

B. TINJAUAN TEORI

1. Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)

Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) merupakan sebuah model yang dikembangkan oleh Venkatesh et al (2003) untuk menjelaskan perilaku pengguna terhadap teknologi informasi. Menurut Kristoforus (2013), keberhasilan penggunaan atau penerapan teknologi tergantung pada penerimaan dan penggunaan setiap individu pemakainya. Model Model UTAUT lama memiliki empat kunci konstruksi yaitu: harapan kinerja (*performance expectancy*), harapan usaha (*effort expectancy*), pengaruh sosial (*social influence*), dan kondisi fasilitas (*facilitating*

conditions) yang memiliki pengaruh terhadap niat perilaku untuk menggunakan teknologi.

Perilaku penggunaan teknologi informasi (use behavior) didefinisikan sebagai intensitas dan atau frekuensi pemakai dalam menggunakan teknologi informasi (Venkatesh et al., 2003a). Use behavior dalam banyak penelitian empiris selalu Perilaku penggunaan teknologi informasi (use behavior) didefinisikan sebagai intensitas dan atau frekuensi pemakai dalam menggunakan teknologi informasi (Venkatesh et al., 2003a).

Dalam konteks fintech, UTAUT membantu menjelaskan mengapa beberapa layanan seperti mobile banking atau dompet digital cepat diadopsi. Studi oleh Mensah et al. (2024) di Tiongkok menemukan bahwa performance expectancy (kecepatan transaksi) dan social influence (rekomen-dasi dari teman) menjadi pendorong utama adopsi mobile banking. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti effort expectancy (kemudahan penggunaan) dan facilitating conditions (ketersediaan infrastruktur) berperan penting dalam meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap layanan mobile banking. Dengan meningkatnya penetrasi smartphone dan akses internet, pengguna semakin merasa nyaman untuk melakukan transaksi keuangan secara digital.

2. Teknologi Keuangan

Teknologi keuangan atau dikenal Fintech (Financial Technology) merupakan inovasi teknologi yang digunakan untuk meningkatkan layanan keuangan dari perkembangan teknologi. Menurut (Arner et al., 2015), FinTech memiliki arti bagaimana penerapan suatu teknologi dalam bidang keuangan. Dan menurut (Schueffel, 2018) yang dimana mengungkapkan bahwa FinTech merupakan bentuk sebuah industri baru yang penerapan teknologinya diaplikasikan untuk menghasilkan kemajuan di bidang keuangan. FinTech Menurut (Lee & Shin, 2018; Liu et al., 2020), FinTech

terdiri dari delapan model bisnis yang mencakup pembayaran digital, penarikan tunai tanpa menggunakan kartu dari mesin ATM, chatbot, penyedia pinjaman online, platform crowdfunding, asuransi, layanan manajemen investasi dan penasihat robot

Kemampuan ini mencakup pengetahuan teknologi, paten, kekayaan intelektual khusus teknologi, dan rahasia dagang perusahaan, yang bertindak sebagai kekuatan pendorong di balik upaya inovasi (Hsieh & Tsai, 2007). Untuk berkembang dalam lanskap bisnis saat ini, perusahaan harus memiliki kemampuan untuk mengembangkan dan menerapkan produk dan proses digital (Khin & Ho, 2020). Manajemen dan pemanfaatan teknologi digital yang efektif sangat penting dalam meningkatkan kinerja bisnis dengan mengintegrasikan sumber daya manusia dan teknologi (Liu *et al.*, 2011). Ketersediaan teknologi menentukan kapabilitas digital, di mana perusahaan mengembangkan dan memelihara prosedur untuk memanfaatkan modal manusia dan aset pengetahuan dalam berinteraksi dengan teknologi digital (Saputra *et al.*, 2022). Kapabilitas digital perusahaan merupakan penentu penting kinerja bisnisnya secara keseluruhan (Khin *et al.*, 2012).

Transformasi digital yang sukses mengharuskan perusahaan untuk mengembangkan kemampuan yang disesuaikan dengan sektor dan kebutuhan spesifik mereka (Carcary *et al.*, 2016). Mengembangkan kemampuan dinamis sangat penting bagi kemampuan perusahaan untuk beradaptasi dengan perubahan . keunggulan kompetitif di era digital (Karimi dan Walter, 2015). Kemampuan dinamis memberikan pendekatan yang konsisten untuk mempelajari transformasi digital, dengan mempertimbangkan dampak kuat teknologi digital terhadap kinerja bisnis (Warner & Wäger, 2019)

3. Tata Kelola Keuangan

Tata kelola keuangan adalah bagian penting dari tata kelola perusahaan (*corporate governance*) yang berfokus pada bagaimana perusahaan mengelola sumber daya keuangannya secara efisien, transparan, dan bertanggung jawab. Tujuannya adalah untuk mencapai pertumbuhan jangka panjang serta melindungi kepentingan pemangku kepentingan. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 2015) dalam *Principles of Corporate Governance* menekankan bahwa tata kelola keuangan yang baik harus berlandaskan lima prinsip utama, yaitu transparansi, akuntabilitas, tanggung jawab, independensi, dan kewajiban.

4. Kinerja Keuangan Perusahaan

Kinerja keuangan perusahaan mencerminkan efektivitas pengelolaan sumber daya keuangan dalam mencapai tujuan bisnis jangka pendek dan panjang. Higgins (2012) menekankan bahwa kinerja keuangan tidak hanya berkaitan dengan profitabilitas, tetapi juga mencerminkan efisiensi manajemen dalam mengalokasikan aset dan modal. Beberapa rasio utama yang digunakan dalam penilaian kinerja keuangan meliputi Return on Assets (ROA) untuk mengukur efisiensi penggunaan aset dalam menghasilkan laba, Return on Equity (ROE) untuk menilai keuntungan yang diperoleh dari ekuitas pemegang saham, serta Debt to Equity Ratio (DER) untuk menggambarkan keseimbangan antara utang dan ekuitas dalam struktur modal perusahaan. Earnings per Share (EPS) juga menjadi indikator penting bagi investor dalam menilai potensi keuntungan dari saham yang dimiliki.

C. PERAN TEKNOLOGI KEUANGAN DALAM TATA KELOLA KEUANGAN DAN KINERJA KEUANGAN

1. Perkembangan Fintech pada Dunia Industri

Perkembangan teknologi finansial (fintech) telah mengalami transformasi yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini seiring dengan perubahan yang terjadi pada industri keuangan global yang semakin terdorong oleh inovasi teknologi. Di bawah ini, saya akan membahas perkembangan fintech dalam industri keuangan dengan merujuk pada beberapa kajian teori dan artikel internasional yang relevan.

1. Pengenalan Fintech

Fintech mengacu pada penggunaan teknologi untuk memberikan layanan keuangan, termasuk pembayaran digital, peminjaman, investasi, asuransi, dan manajemen kekayaan. Menurut Narayan et al. (2019) fintech mengacu pada inovasi teknologi yang merubah cara orang berinteraksi dengan produk dan layanan keuangan. Teknologi ini mencakup perangkat lunak, aplikasi, algoritma, dan platform digital yang memungkinkan akses lebih cepat dan lebih mudah ke layanan keuangan.

2. Transformasi dalam Layanan Keuangan

Transformasi fintech dalam layanan keuangan telah mengubah banyak aspek industri, dari transaksi pembayaran hingga akses pembiayaan. Sebagai contoh:

Pembayaran Digital: Perusahaan seperti PayPal, Square, dan Alipay telah mengubah cara orang melakukan transaksi secara global. Dalam artikel oleh Gomber et al. (2018) di *Journal of Financial Intermediation*, mereka menjelaskan bahwa fintech telah mendorong adopsi pembayaran digital yang lebih luas, mengurangi ketergantungan pada uang tunai, dan menyediakan solusi yang lebih aman dan lebih nyaman untuk konsumen.

Digital Lending Platforms: sistem digital yang berfungsi sebagai pintu masuk utama bagi pengguna

untuk mengakses berbagai layanan, produk, atau informasi dalam suatu ekosistem digital. DLP dirancang untuk menarik, mengarahkan, dan mengonversi pengguna dengan cara yang efisien melalui pengalaman yang terstruktur dan terpersonalisasi. DLP banyak digunakan dalam bisnis berbasis digital, seperti e-commerce, fintech, pendidikan online, dan layanan berbasis SaaS (Software as a Service).

3. Teori Ekonomi dan Keuangan Digital

Penerapan fintech dalam ekonomi digital dapat dijelaskan melalui beberapa teori ekonomi:

Teori Jaringan (Network Theory): Dalam konteks fintech, teori jaringan berfokus pada bagaimana platform dan layanan fintech dapat menghubungkan pengguna melalui jaringan digital, yang menciptakan nilai tambah bagi semua pihak yang terlibat. Misalnya, platform seperti Bitcoin dan Ethereum beroperasi dalam jaringan terdesentralisasi yang memungkinkan transaksi tanpa perantara pihak ketiga.

Teori Sistem Informasi (Information Systems Theory): Penerapan teori ini dalam fintech berfokus pada bagaimana sistem informasi mempengaruhi cara data dikumpulkan, diproses, dan digunakan dalam pengambilan keputusan finansial. Sistem yang dikembangkan oleh fintech mampu memberikan analisis data yang lebih cepat dan lebih akurat, yang mempercepat proses pengambilan keputusan oleh investor dan lembaga keuangan.

4. Regulasi dan Keamanan

Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh industri fintech adalah masalah regulasi dan keamanan. Berdasarkan artikel Zohar et al. (2020) dalam, regulasi fintech di berbagai negara berbeda, dan hal ini sering kali menciptakan tantangan bagi perusahaan fintech yang ingin beroperasi secara internasional. Regulasi yang tidak memadai dapat

membuka celah bagi praktik keuangan yang tidak sah, seperti penipuan atau pencucian uang. Oleh karena itu, penting bagi regulator untuk menciptakan kebijakan yang dapat melindungi konsumen tanpa menghambat inovasi.

2. Peluang dan Hambatan Fintech

Fintech, yang memanfaatkan teknologi untuk menyediakan layanan keuangan, telah memperkenalkan banyak peluang serta menghadirkan hambatan dalam industri keuangan. Meskipun fintech membawa transformasi positif, ada berbagai tantangan yang dihadapi baik oleh penyedia layanan fintech maupun oleh pengguna. Berikut adalah analisis mengenai hambatan dan peluang penggunaan fintech

1. Peluang Penggunaan Fintech

a) Inklusi Keuangan (Financial Inclusion)

Salah satu peluang terbesar yang dihadirkan oleh fintech adalah inklusi keuangan, yang memberi akses layanan keuangan kepada masyarakat yang sebelumnya tidak terjangkau, terutama di negara berkembang. Teknologi seperti pembayaran mobile, *Digital Lending*, dan *e-wallet* memberi akses yang lebih mudah bagi individu yang tidak memiliki akses ke bank tradisional. Sebagai contoh, M-Pesa di Kenya telah sukses memberikan layanan keuangan kepada jutaan orang yang tidak memiliki rekening bank. Menurut Narayan et al. (2019), fintech memungkinkan orang di daerah terpencil untuk mengakses layanan keuangan yang sebelumnya hanya dapat dijangkau oleh mereka yang berada di area perkotaan.

b) Efisiensi dan Pengurangan Biaya.

Fintech mengurangi biaya transaksi melalui digitalisasi dan otomatisasi. Proses transaksi yang lebih cepat dan tanpa perantara (seperti bank) membantu mengurangi biaya layanan, baik untuk konsumen maupun penyedia

layanan. Sebagai contoh, sistem pembayaran digital seperti Alipay dan PayPal memungkinkan konsumen untuk melakukan transaksi dengan biaya yang lebih rendah dan waktu yang lebih efisien dibandingkan menggunakan metode pembayaran tradisional. Gomber et al. (2018) menunjukkan bahwa fintech membantu menciptakan ekosistem yang lebih efisien dan kompetitif dalam industri keuangan.

- c) Peningkatan Akses terhadap Pembiayaan. Platform lending P2P seperti LendingClub atau Funding Circle membuka akses yang lebih luas bagi individu dan usaha kecil yang mungkin tidak memenuhi kriteria untuk mendapatkan pinjaman dari bank tradisional. Fintech memungkinkan peminjaman dengan proses yang lebih mudah, transparan, dan cepat. Menurut Puschmann (2017), model ini memfasilitasi pengembangan usaha kecil dan menengah (UKM) yang berkontribusi pada perekonomian global.
 - d) Inovasi Produk Keuangan. Fintech memungkinkan pengembangan produk keuangan baru yang lebih sesuai dengan kebutuhan konsumen modern. Produk seperti robo-advisors untuk manajemen investasi (misalnya Betterment dan Wealthfront) memberikan akses mudah dan terjangkau bagi konsumen untuk melakukan investasi secara otomatis. Cai dan Li (2020) menjelaskan bahwa dengan menggunakan kecerdasan buatan (AI), fintech dapat memberikan rekomendasi yang lebih personal, yang menguntungkan konsumen yang tidak memiliki pengetahuan mendalam dalam investasi.
2. Hambatan Penggunaan Fintech
- a) Ketimpangan Akses Teknologi (Digital Divide) Meskipun fintech menawarkan inklusi keuangan, World Bank (2021) mengidentifikasi

bahwa ketimpangan akses terhadap teknologi masih menjadi masalah besar, terutama di daerah pedesaan atau negara berkembang. Tanpa infrastruktur digital yang memadai, banyak individu yang tidak dapat memanfaatkan layanan fintech, meskipun mereka mungkin sangat membutuhkannya. Hal ini menciptakan kesenjangan dalam akses ke layanan keuangan, yang justru memperburuk ketimpangan sosial.

- b) Isu Keamanan dan Privasi Keamanan data adalah masalah penting yang sering dikaitkan dengan fintech. Penggunaan teknologi canggih seperti blockchain dan algoritma besar meningkatkan kerentanannya terhadap peretasan dan penyalahgunaan data pribadi. Zohar et al. (2020) dalam artikel mereka mengungkapkan bahwa meskipun fintech meningkatkan efisiensi, kerentanannya terhadap cyber-attacks tetap menjadi hambatan besar, sehingga menciptakan rasa tidak aman di kalangan konsumen yang khawatir akan pelanggaran data atau penipuan.
- c) Keterbatasan Regulasi Regulasi Banyak negara belum memiliki regulasi yang jelas mengenai fintech, yang menyebabkan ketidakpastian hukum dan menciptakan ruang untuk potensi penipuan atau ketidakadilan. Arner, Barberis, & Buckley (2017) menunjukkan bahwa meskipun regulasi di beberapa negara sudah mulai berkembang, banyak sektor fintech yang belum sepenuhnya diatur dengan baik, yang menyebabkan ketidakpastian bagi investor dan konsumen.
- d) Kepercayaan Konsumen yang Rendah Kepercayaan terhadap platform fintech masih menjadi masalah besar, terutama di kalangan pengguna yang lebih tua atau mereka yang tidak terbiasa dengan teknologi. Menurut Zohar et al.

(2020), meskipun fintech menawarkan keuntungan dalam hal kenyamanan dan kecepatan, ketidakpastian dan ketidakpastian dalam sistem dapat mengurangi kepercayaan konsumen, yang pada gilirannya menghambat adopsi lebih.

3. Implementasi Teknologi Keuangan dalam Kinerja Keuangan

Persaingan dalam industri Fintech telah menjadi sangat kompleks dengan pesatnya perkembangan teknologi canggih dan memberikan tekanan tinggi pada profitabilitas perusahaan Fintech (Suprun et al., 2020; Zveryakov et al., 2019). Mengeksplorasi faktor-faktor yang memengaruhi profitabilitas perusahaan merupakan bidang penelitian penting dalam keuangan, dan berbagai alat, seperti keputusan penataan modal, pembayaran, dan dividen (Agarwal & Zhang, 2020; Allen et al., 2021). Penelitian sebelumnya telah mengamati berbagai faktor yang memengaruhi profitabilitas perusahaan fintech, termasuk ukuran (Kumar et al., 2022), ukuran dewan direksi (Elgadi & Ghardallou, 2022), modal kerja (WC) (Alipour, 2011), usia perusahaan (Agiomirgianakis et al., 2013), leverage (Gjoni et al., 2022), manajemen likuiditas (Aggarwal et al., 2022), tanggung jawab sosial perusahaan (Jaisinghani & Sekhon, 2022), penelitian dan pengembangan, aset tidak berwujud (Nguyen-Anh et al., 2022), dan rasio utang (Alarussi & Alhaderi, 2018).

Inovasi digital, yang didorong oleh kapabilitas digital, memengaruhi kinerja perusahaan secara positif dengan memungkinkan terciptanya proses, layanan, dan produk baru yang didukung TI secara sukses (Kohli & Melville, 2019). Studi juga menunjukkan bahwa orientasi digital, yang dikombinasikan dengan orientasi lingkungan, berdampak positif pada inovasi proses dan produk (Ardito et al., 2021). Studi yang dilakukan oleh Alzoubi et al. (2023) menganalisis data

dari bank komersial yang terdaftar di Bursa Efek Amman dan Bursa Efek Abu Dhabi pada periode 2012 hingga 2020. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa penerapan fintech memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kinerja keuangan bank, khususnya melalui optimalisasi layanan keuangan digital dan penerapan manajemen risiko yang lebih efektif.

Evaluasi profitabilitas dengan memeriksa faktor-faktor penentunya sangat penting karena profitabilitas dipahami sebagai pendapatan perusahaan yang berasal dari pendapatan setelah semua biaya yang dikeluarkan selama waktu tertentu dikurangi. Setiap perusahaan yang ingin merancang, menginstrumentasikan, dan menegakkan taktik yang akan meningkatkan kinerjanya (Tripathi et al., 2018; Fang, 2024; Dong et al., 2022), meningkatkan kepuasan pemegang saham, menarik investor, dan memungkinkannya untuk bertahan atau tetap berkelanjutan dalam iklim persaingan apa pun harus mempertimbangkan dengan cermat faktor-faktor penentu yang memengaruhi profitabilitas perusahaan (Sufian & Kamarudin, 2015). Ketika terjadi krisis seperti epidemi COVID-19, di mana semua bisnis mengalami kerugian yang signifikan, menentukan faktor-faktor yang memengaruhi profitabilitas menjadi lebih penting (Haas et al., 2020; Mzoughi et al., 2022). Industri fintech masih baru dan, dengan sifat bisnis yang dinamis, telah mengalami pertumbuhan yang belum pernah terjadi sebelumnya selama pandemi karena kapasitasnya untuk memastikan kelancaran pasokan layanan keuangan digital. Berbagai proksi mengukur kinerja keuangan atau profitabilitas perusahaan dalam literatur, termasuk ROA: laba atas aset (ROA) (Boukhatem & Djelassi, 2020), laba atas ekuitas (ROE) (Liu et al., 2021; Siraj & Pillai, 2012) EPS, laba per saham (EPS) (Shu-Ching & Wenching, 2006; Vatavu, 2014), dan laba atas penjualan (ROS) (Li et al., 2007).

4. Peran Keterkaitan Fintech dalam Tata Kelola keuangan dan Kinerja Keuangan

Fintech (Financial Technology) berperan penting dalam memodernisasi tata kelola keuangan dan meningkatkan kinerja keuangan. Dalam konteks ini, fintech merujuk pada penggunaan teknologi untuk menyediakan layanan keuangan, termasuk pembiayaan, pembayaran, asuransi, investasi, dan perencanaan keuangan, yang memudahkan pengelolaan dan pengawasan keuangan baik oleh individu maupun perusahaan.

1. Peran Fintech terhadap Tata Kelola Keuangan

Fintech memudahkan tata kelola keuangan dengan menyediakan solusi yang lebih efisien dan transparan dalam pengelolaan transaksi keuangan. Aplikasi pembayaran, sistem manajemen anggaran, dan platform investasi memungkinkan individu atau perusahaan untuk mengelola keuangan mereka dengan cara yang lebih terorganisir, cepat, dan hemat biaya. kemudahan tata kelola keuangan dengan fintech:

- a) **Automatisasi, integrasi dan efesiensi operasional:**
Fintech memungkinkan otomatisasi dalam pencatatan transaksi, pengelolaan anggaran, dan pelaporan keuangan. Ini mengurangi kemungkinan kesalahan manusia dan menghemat waktu dalam pengelolaan keuangan. Selain itu juga, dapat memudahkan dalam pengambilan keputusan
- b) **Transparansi dan Akuntabilitas**
Pengguna dapat memantau pengeluaran, investasi, dan pinjaman secara real-time, meningkatkan transparansi dan akuntabilitas manajemen keuangan
- c) **Aksesibilitas dan inklusi keuangan**
Fintech membuka akses ke layanan keuangan bagi masyarakat yang sebelumnya tidak terjangkau oleh bank konvensional, termasuk melalui layanan

- pinjaman mikro, dompet digital, dan investasi dengan biaya rendah.
- d) Kepatuhan Regulasi.
Membantu perusahaan dalam memenuhi kepatuhan regulasi keuangan dengan otomatisasi pemantauan transaksi dan menurangi resiko *fraud*

3. Peran Fintech dalam Meningkatkan Kinerja Keuangan

Fintech juga memainkan peran penting dalam meningkatkan kinerja keuangan dengan menyediakan akses yang lebih mudah ke produk keuangan yang efisien, mengurangi biaya transaksi, dan meningkatkan manajemen risiko. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi finansial, likuiditas, dan profitabilitas baik bagi individu maupun perusahaan. peningkatan kinerja keuangan dengan fintech:

- a) Akses ke pendanaan
Fintech menyediakan platform untuk pinjaman peer-to-peer (P2P), yang memungkinkan individu dan usaha kecil untuk mengakses dana dengan bunga yang lebih kompetitif dibandingkan dengan lembaga keuangan tradisional.
- b) Pengelolaan investasi
Teknologi robo-advisor memungkinkan individu untuk melakukan investasi dengan biaya lebih rendah dan lebih efektif dalam jangka panjang.
- c) Efisiensi biaya dan pengurangan risiko
Penggunaan teknologi dalam fintech dapat mengurangi biaya operasional perusahaan dan meningkatkan pengelolaan risiko melalui analisis data yang lebih canggih.

4. Tata Kelola yang Baik Meningkatkan Kinerja Keuangan
Penerapan tata kelola keuangan yang baik melalui pelaporan otomatis berperan penting dalam meningkatkan akurasi dan keandalan data keuangan. Teknologi seperti Enterprise Resource Planning (ERP) berbasis AI dan blockchain telah mengubah sistem

pelaporan tradisional dengan mengurangi ketergantungan pada input manual yang rentan terhadap kesalahan manusia. selain itu juga, Tata kelola yang baik memungkinkan perusahaan menyajikan data yang lebih akurat, transparan, dan real-time, dan efisiensi biaya, sehingga mendukung investor dan pihak manajemen Perusahaan dalam menganalisis risiko, memprediksi arus kas, serta mengevaluasi kinerja perusahaan secara lebih efektif. Hal ini pada akhirnya akan berdampak pada pengambilan keputusan investasi yang lebih optimal.

5. Hubungan Antara Fintech, Tata Kelola Keuangan, dan Kinerja Keuangan

Teknologi canggih memfasilitasi transparansi dan akuntabilitas yang lebih baik dalam perusahaan dengan menyediakan data dan analitik waktu nyata yang dapat digunakan untuk tujuan pemantauan dan pelaporan (Ferilli et al. 2024). Kemudahan tata kelola keuangan dan kinerja keuangan yang lebih baik sangat terkait dengan kemampuan fintech untuk memberikan layanan yang lebih terjangkau, cepat, dan efisien. Melalui aplikasi dan platform berbasis teknologi, fintech membantu meningkatkan produktivitas dan pengelolaan keuangan yang lebih cerdas, yang pada akhirnya meningkatkan kinerja keuangan baik di tingkat individu maupun perusahaan.

Inovasi seperti fintech akan diterima dan diadopsi oleh pengguna jika teknologi tersebut memberikan keuntungan yang jelas, seperti kemudahan, efisiensi, dan pengurangan biaya dalam pengelolaan keuangan. Penerimaan teknologi oleh individu dipengaruhi oleh persepsi mereka terhadap kemudahan penggunaan dan manfaat yang diperoleh dari teknologi tersebut. Fintech memenuhi kedua kriteria ini, yang berkontribusi pada kemudahan tata kelola keuangan dan kinerja keuangan.

D. SIMPULAN

Perkembangan fintech dalam industri keuangan tidak hanya membawa inovasi dalam produk dan layanan, tetapi juga mendorong perubahan signifikan dalam cara sistem keuangan tradisional beroperasi. Dengan adanya berbagai teori yang menjelaskan dinamika fintech dan artikel-artikel internasional yang menyoroti penerapan praktisnya, kita dapat melihat bagaimana sektor ini terus tumbuh meskipun menghadapi tantangan. Seiring dengan peningkatan teknologi dan regulasi yang lebih baik, fintech diharapkan dapat memainkan peran penting dalam menciptakan ekonomi yang lebih inklusif dan efisien di masa depan.

Penggunaan fintech di industri keuangan membawa banyak peluang dalam hal efisiensi, inklusi keuangan, dan inovasi produk, namun juga menghadirkan tantangan signifikan dalam hal akses, keamanan, regulasi, dan kepercayaan konsumen. Untuk mengoptimalkan peluang yang ada, diperlukan kolaborasi antara regulator, penyedia layanan fintech, dan masyarakat agar hambatan-hambatan ini dapat diatasi dengan baik.

Mengintegrasikan FinTech ke dalam strategi bisnis dapat membuka jalan baru untuk mengakses layanan keuangan, mengoptimalkan operasi, dan memperoleh wawasan berharga dari analisis data. Hal ini dapat menghasilkan peningkatan efisiensi, penghematan biaya, manajemen risiko yang lebih baik, dan pada akhirnya, peningkatan kinerja bisnis secara keseluruhan.

Integrasi teknologi keuangan berperan besar dalam mempermudah tata kelola keuangan dan meningkatkan kinerja keuangan melalui inovasi teknologi yang meningkatkan efisiensi, transparansi, dan aksesibilitas layanan keuangan. Fintech tidak hanya membantu individu dan organisasi dalam pengelolaan keuangan secara efisien, tetapi juga memberikan keunggulan kompetitif dalam pengelolaan

keuangan dan meningkatkan kinerja keuangan perusahaan dalam jangka Panjang.



DAFTAR PUSTAKA

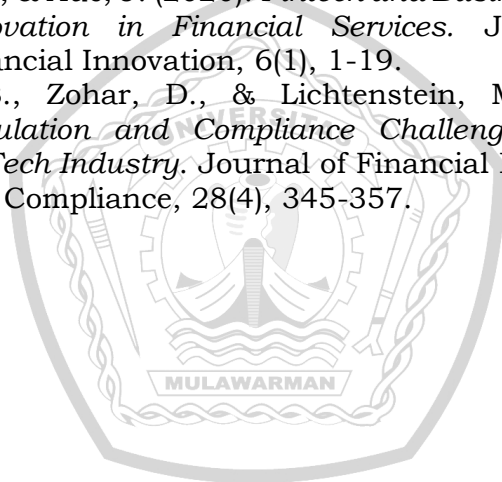
- Agarwal, S., & Zhang, J. (2020). FinTech, lending and payment innovation: A review. *Asia-Pacific Journal of Financial Studies*, 49(3), 353–367. <https://doi.org/10.1111/ajfs.12294>
- Agrawal, A. (2020). Modified total interpretive structural model of corporate financial flexibility. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 21(4), 369–388. <https://doi.org/10.1007/s40171-020-00253-7>
- Allen, F., Gu, X., & Jagtiani, J. (2021). A survey of fintech research and policy discussion. *Review of Corporate Finance*, 1(3–4), 259–339. <https://doi.org/10.1561/114.000000007>
- Arner, D.W., Barberis, J., & Buckley, R.P. (2017). *FinTech, RegTech, and the Reconceptualization of Financial Regulation*. *North Carolina Law Review*, 95(3), 573–634.
- Arena, C., Catuogno, S., & Naciti, V. (2020). Governing FinTech for performance: the monitoring role of female independent directors. *European Journal of Innovation Management*, 26(7), 591–610. <https://doi.org/10.1108/EJIM-11-2022-0621>
- Arner, D. W., Barberis, J., & Buckley, R. P. (2017). *FinTech, RegTech, and the Reconceptualization of Financial Regulation*. *Northwestern Journal of International Law & Business*, 37(3), 371–413.
- Bank Indonesia. (2017). PBI No. 19/12/PBI/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pembayaran. <https://www.bi.go.id>
- Bollaert, H., F. Lopez-de-Silanes, and A. Schwienbacher. 2021. Fintech and access to finance. *Journal of Corporate Finance* 68:101941. doi: 10.1016/j.jcorpfin.2021.101941 .
- Cai, J., & Li, L. (2020). *Blockchain and Cryptocurrency in Financial Services: A Study of Financial*

- Innovations and Their Regulatory Implications*. Journal of Banking and Finance, 112, 1-16.
- Davis, F. D. (1989). *Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology*. MIS Quarterly, 13(3), 319-340.
- Dong, X., and M. Yu. 2023. Does FinTech development facilitate firms' innovation? Evidence from China. International Review of Financial Analysis 89:102805. doi: 10.1016/j.irfa.2023.102805
- Dong, X., Wen, X., Wang, K., & Cai, C. (2022). Can negative media coverage be positive? When negative news coverage improves firm financial performance. Journal of Business & Industrial Marketing, 37(6), 1338–1355
- Ferilli, G. B., Y. Altunbas, V. Stefanelli, E. Palmieri, and V. Boscia. 2024. Fintech governance and performance: Implications for banking and financial stability. Research in International Business and Finance 102349. doi: 10.1016/j.ribaf.2024.102349
- Gomber, P., Koch, J.-A., & Siering, M. (2018). *Digital Finance and FinTech: Current Research and Future Research Directions*. Journal of Business Economics, 88(4), 1-24.
- Gustina, M. (2022). Behavior Intention Penggunaan Digital Payment QRIS Berdasarkan Model Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) (Studi pada UMKM Sektor Industri Makanan & Minuman di Kota Jambi). Jurnal Ilmiah Manajemen Dan Kewirausahaan (JUMANAGE), 1(1), 29–37. <https://doi.org/10.33998/jumanage.2022.1.1.23>
- Liu, Y., Saleem, S., Shabbir, R., Shabbir, M. S., Irshad, A., & Khan, S. (2021). The relationship between corporate social responsibility and financial Performance: A moderate role of Fintech technology. Environmental Science and Pollution

- Research International, 28(16), 20174–20187.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11822-9>
- Lu, Q., Y. Zhou, Z. Luan, and H. Song. 2024. The effect of SMEs' ambidextrous innovations on supply chain financing performance: Balancing effect and moderating effect. *International Journal of Operations & Production Management* 44 (2):424–61. doi: 10.1108/IJOPM-10-2022-0684
- Luo, S., Y. Sun, F. Yang, and G. Zhou. 2022. Does fintech innovation promote enterprise transformation? Evidence from China. *Technology in Society* 68:101821. doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101821
- Narayan, S., Maheshwari, P., & Gupta, M. (2019). *The Rise of Financial Technologies (FinTech) and Its Impact on the Financial Industry*. *Journal of Financial Technology*, 6(2), 23-40.
- Narain, P., & Gupta, M. (2018). *The Role of FinTech in Driving Financial Inclusion in Emerging Markets*. *Journal of Digital Banking*, 2(3), 234-245.
- Phan, D. H. B., P. K. Narayan, R. E. Rahman, and A. R. Hutabarat. 2020. Do financial technology firms influence bank performance? *Pacific-Basin Finance Journal* 62:101210. doi: 10.1016/j.pacfin.2019.101210
- Puschmann, T. (2017). *FinTech in the Financial Industry: The Business Models and Trends of the Digital Revolution*. *Business & Information Systems Engineering*, 59(1), 37-45.
- Sharma, Manoj Kumar, Jain, Pramod K., & Sushil. (2010). Revisiting flexibility in organizations: exploring its impact on performance. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 11(3), 51–68. <https://doi.org/10.1007/BF03396587>
- Suprun, A., Petrishina, T., & Vasylichuk, I. (2020). Competition and cooperation between Fintech companies and traditional financial institutions. *E3S Web of Conferences*, 166, 13028.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016613028>

- Tan, Z., H. Wang, and Y. Hong. 2023. Does bank FinTech improve corporate innovation? *Finance Research Letters* 55:103830. doi: 10.1016/j.frl.2023.103830 .
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- World Bank (2021). *The Role of FinTech in Promoting Financial Inclusion*. World Bank Group Report.
- Zhang, Y., & Xue, J. (2020). *Fintech and Business Model Innovation in Financial Services*. *Journal of Financial Innovation*, 6(1), 1-19.
- Zohar, S., Zohar, D., & Lichtenstein, M. (2020). *Regulation and Compliance Challenges in the FinTech Industry*. *Journal of Financial Regulation and Compliance*, 28(4), 345-357.



UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur Alhamdulillah Robbil 'Alamin, Berkat rahmat Allah Subhanahu wa ta'ala atas karuniaNya sehingga saya mendapatkan kemudahan dan kelancaran dalam proses pencapaian karir akademik Guru Besar ini. Izinkan saya menyampaikan rasa hormat dan penghargaan:

1. Bapak Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Mulawarman.
2. Bapak Ketua, Sekretaris dan Para Anggota Senat Universitas Mulawarman.
3. Bapak Dekan, Wakil Dekan, Ketua Jurusan, Koordinator Program Studi dan Gugus Jaminan Mutu di Lingkungan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Mulawarman.
4. Bapak Ketua, Sekretaris dan Para Anggota Senat Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Mulawarman.
5. Kedua Orang Tua Saya Bapak H. Bahrudin dan Ibu Hj. Raudah yang telah yang telah mendidik, memberikan inspirasi dan kasih sayangnya serta mendoakan saya setiap saat.
6. Kedua Mertua saya Bapak Almarhum Drs. H. Imranuddin dan Almarhumah Prof Dr Hj Rusmilwati Im., M.Si yang telah memberikan dukungan dan doanya.
7. Istri saya yang tercinta Hj. Ida Zulfiani Nata, S.Pt., M.Si yang selalu memberikan inspirasi, semangat, motivasi, dukungan dan doanya setiap saat.
8. Anak-anak saya tersayang, Muhammad Dzaki Izzata Ath Thariq, Muhammad Rifqi Aunur Rahman dan Kareen Nandini Azka Nabila yang selalu memberikan insprisasi dan semangat serta doanya
9. Adik-adik saya Fahmiansyah, SE., MM dan dr. Diana Astuti serta dr. Firman Raudana yang telah memberikan motivasi, dukungan dan doanya.

10. Kakak kakak ipar saya H. Agus Hadi Widijantoro, SE dan Hj. Irna Dwiyaninata, S.K.M., M.Si; Dr. Irsan Tricahyadinata, S.E., M.Si dan Rini Novianti, SE; dan Prof. Chairul Irawan, ST., MT., Ph.D dan Prof. Iryanti Fatyasari Nata. ST., MT., Ph.D yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doanya.
 11. Almarhum Prof. Dr. H. A. Karim Saleh dan Prof. Dr. H. M. Asdar selaku Promotor dan Co Promotor Disertasi saat studi di Universitas Hasanudin.
 12. Prof Dr. Indra Bastian, MBA., CA selaku pembimbing Tesis saat studi di Universitas Gajah Mada.
 13. Para Guru Besar dan seluruh Dosen serta Tenaga Kependidikan di lingkungan Universitas Mulawarman, khususnya di lingkungan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Mulawarman.
- Semoga Allah SWT selalu memberikan limpahan keberkahan, kebaikan, rahmat dan hidayahNya kepada kita semua, Aamiin Ya Rabbal Alamin.



CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Dr. H. Irwansyah., M.M.
NIP : 197511102001121004
NIDN : 0010117510
Tempat, Tanggal
Lahir : Longkali, 10 Nopember 1975
Agama : Islam
Email : irwansyah@feb.unmul.ac.id
No HP : 081253405775
Fakultas : Ekonomi dan Bisnis
Pangkat, Gol. : Pembina, IVA
TMT Golongan : 1 April 2015
Jabfung, TMT : Guru Besar, 1 Desember 2024
ID SINTA : 6111719
ID SCOPUS : 57221092765

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) Akuntansi STIE YKPN Yogyakarta 1998
2. Magister (S2) Magister Manajemen Universitas Gajah Mada Yogyakarta 2001
3. Doktor (S3) Ilmu Ekonomi Universitas Hasanuddin Makassar 2010

RIWAYAT PENELITIAN

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi indenpensi Auditor Pemerintah pada Badan Pengawas Keuangan dan Pembangunan Perwailan BPKP Provinsi Kalimantan Timur. 2016
2. Intellectual Capital dan Market Value: Studi Perusahaan High-IC Intensive Di Bursa Efek Indoensia. 2017
3. Asking Corporate Commitment on Philanthropy: The Effect to Firm Value. 2019

4. Pengaruh ukuran perusahaan dan leverage terhadap agency cost pada perusahaan otomotif yang terdaftar di bursa efek Indonesia 2019
5. Financial Intelligence : Financial Statement Fraud in Indonesia. 2020
6. Structure of Corporate Governance Important to reduce Manipulation of Financial Statement: The Empirical Studies in The Indonesia Context. 2020
7. Identification of Affective Commitment Through Perceived Organizational Support. 2021
8. Akuntansi Anggaran Alokasi Dana Desa Di Desa Muara Mujan Kecamatan Tering Kabupaten Kutai Barat 2021
9. Pengaruh Good Corporate Governance Dan Profitabilitas Terhadap Harga Saham Pada Perusahaan Corporate Governance Perception Index 2021
10. Pengaruh Rasio Profitabilitas, Likuiditas, Leverage, dan Aktivitas Terhadap Nilai Perusahaan (Studi Empiris BUMN yang Terdaftar di BEI) 2021
11. The effect of government expenditure, economic growth, and population on employment and poverty in East Kalimantan Province (Indonesia)
12. The Implementation of Green Accounting on Hospitality Industry from Social and Environmental Perspectives 2022
13. The Effect Of Tax Reform Practices And Tax Audit Intensity On Taxpayer Compliance And Perceptions 2022
14. Pengaruh kepemilikan institusional, free cash flow, collateral assets dan return on assets terhadap kebijakan dividen dengan kebijakan hutang sebagai variabel intervening 2022
15. Pengaruh restrukturisasi kredit dan dana pihak ketiga terhadap laba pada perusahaan perbankan yang terdaftar di bursa efek Indonesia 2022
16. Pengaruh return on assets, debt to equity ratio, dan earning per share terhadap return saham pada

- perusahaan properti dan real estate yang terdaftar di bursa efek Indonesia 2022
17. The Role Of Risk-Taking Moderation On The Performance Of Small And Medium Enterprises In The Pandemic Era 2022
 18. Pengaruh manajemen laba, asimetri informasi, pengungkapan sukarela dan ukuran perusahaan terhadap biaya modal ekuitas pada perusahaan manufaktur yang terdaftar di BEI
 19. The Effect Of E-Government On Local Government Performance Accountability In Indonesia 2022
 20. The Impact Of Competence, Motivation, And Remuneration On Employee Performance With Transformational Leadership Style As Moderating Variable In Samarinda Class Ii Penitentiary 2022
 21. Pengaruh kepemilikan manajerial, dewan komisaris independen, leverage dan asymmetric information terhadap firm value dengan cash holding sebagai variabel mediasi pada perusahaan manufaktur yang terdaftar di bursa efek Indonesia 2022
 22. Have Companies In Indonesia Disclose Environmental Accounting? 2022
 23. Life cycle and external fund: perspective of trade-off theory and pecking order theory 2022
 24. Pengaruh current ratio, debt to assets ratio, dan total assets turnover terhadap return on asset pada perusahaan sektor pertanian yang terdaftar di bursa efek Indonesia 2022
 25. Analisis sistem pengendalian intern penggajian dan pengupahan pada sekolah menengah atas swasta agape 2022
 26. The Flip Side of Economic Growth–Predictions from Indonesia 2022
 27. The Implementation Of Green Accounting On Hospitality Industry From Social And Environmental Perspectives 2022
 28. The Effect of COVID-19 on Consumer Goods Sector Performance: The Role of Firm Characteristics. 2023

29. Implementation of Social and Environmental Accounting: A Case Study of Ex-mining Land Reclamation, Indonesia. 2023
30. Ensuring Security in Economic Freedom: A Cross Case Between Indonesia's Border Neighbors. 2023
31. Anomalies in the 'dark side' of tourism: Resistance to popular sites in Samarinda, Indonesia. 2023
32. Evaluasi Sistem Pengendalian Internal Terhadap Pengelolaan Barang Persediaan Pada Polresta Samarinda 2023
33. Dilemma of accounting online learning system in the covid-19 pandemic in indonesia: a complex-phenomenology approach 2023
34. The Effect of Leadership Style, Incentives, Work Environment, on Work Motivation and Employee Performance at the Regional Development Planning Agency of East Kalimantan Province 2023
35. Pengaruh Cross Training dan Kontrak Psikologis terhadap Psychological Well-Being dan Kinerja Karyawan 2023
36. Pengaruh Intellectual Capital, Ukuran Perusahaan, Pertumbuhan Penjualan Dan Profitabilitas Terhadap Nilai Perusahaan (Studi Kasus Pada Perusahaan Manufaktur Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia Periode 2015-2021) 2023
37. Analisis Kebijakan Program Penanggulangan Kemiskinan di Kabupaten Penajam Paser Utara 2023
38. Analisis Penerapan Standar Akuntansi Keuangan Entitas Tanpa Akuntabilitas Publik (Sak Etap) Pada Laporan Keuangan Koperasi Satuan Brimob Polda Kalimantan Timur 2023
39. The effect of financial leverage, firm size and sales volatility on earning persistence (companies listed on the indonesia stock exchange) 2023
40. Analyzing the Effect of Human Resources Quality and Information Technology Utilization towards Employees Motivation and Performance

41. Analisis Efektivitas Sistem Pengendalian Intern Persediaan Obat di Dinas Kesehatan Provinsi Kalimantan Timur 2023
42. The Impact of Workload and Individual Characteristic and Compensation on the Intensity of Turnover Intention with Organizational Commitment as An Intervening Variable in Momoo Milk Fresh in Samarinda
43. Pengaruh earning per share dan return on equity terhadap harga saham dengan nilai perusahaan sebagai variabel moderasi di masa pandemi covid-19 2023
44. Investigating the Social and Environmental Accounting Implementation in the Reclamation of Former Mining Areas: A Case Study of PT. Kitadin. 2024
45. The Influence Of Accounting Information Systems, Information Quality, And Service Quality On User Satisfaction In The Shopee E-Commerce Application. 2024
46. Investigating Environmental Strategy and Environmental Uncertainty: The role of Environmental Management Accounting. American 2024
47. The Influence of Management Accounting Information System Characteristics, Utilization of Information Technology, and Accounting Knowledge on Managerial Performance (A Case Study at PT Nuansa Dharma Cipta), 2024
48. Pengaruh Implementasi Pengungkapan Emisi Karbon dan Inovasi Hijau terhadap Nilai Perusahaan dengan Kinerja Lingkungan sebagai Variabel Moderasi, 2024
49. Pengaruh Pengetahuan Keuangan, Behavioral Finance, dan Risk Tolerance Terhadap Pengambilan Keputusan Investasi Masyarakat di Kota Samarinda 2024
50. Covid-19 pandemic and cash holding in consumer goods sector: international Evidence. Risk

- Governance & Control: Finance Markets & Institutions 2024
51. Pengaruh Penerapan Green Accounting dan Environmental Performance terhadap Sustainability Development dengan Supply Chain sebagai Pemoderasi. 2024
 52. The Effect of Workload and Work Stress on Officers' Performance and Job Satisfaction as Intervening Variable in Municipal Police Unit, East Borneo Province. 2024
 53. Core Tax Implementation: Ethical Considerations for MSME Tax Strategies. 2025

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. Pengabdian Kepada Masyarakat dalam Akuntansi untuk keberlanjutan: Seri 1.0 2021
2. Peningkatan Potensi Pendapatan Melalui Penentuan Harga Jual Guna Meningkatkan Perekonomian Daerah 2022
3. Pendampingan pengelolaan keuangan pesantren berdasarkan ISAK 35 2022
4. Sosialisasi Penggunaan Quick Response Code Indonesian Standard (QRIS) Pada Pelaku Usaha UMKM 2024
5. Peningkatan Efisiensi Manajerial dalam Pengelolaan Usaha Mikro Kecil dan Menengah di Kota Balikpapan Kalimantan Timur 2024

RIWAYAT JABATAN

1. Sekertaris Program Diploma Tiga FEB Universitas Mulawarman 2005 - 2011
2. Sekertaris Program S2 Magister Manajemen FEB Universitas Mulawarman 2011 - 2016
3. Ketua Jurusan Akuntansi FEB Universitas Mulawarman 2016 - 2018
4. Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan FEB Universitas Mulawarman 2018 - 2024

RIWAYAT PENGHARGAAN

1. Satyalancana Karya Satya 10 Tahun 2017
2. Satyalancana Karya Satya 20 Tahun 2023

BUKU

1. Urgensi Penerapan Pendidikan Akuntansi Berbasis Akuntansi Sosial dan Lingkungan 2018
2. Teori Akuntansi 2020
3. Manajemen Keuangan: Teori dan Konsep 2021
4. Metodologi Penelitian Akuntansi: Pendekatan kuantitatif 2021
5. Metodologi Penelitian Kualitatif Untuk Ekonomi, Bisnis, dan Akuntansi 2023

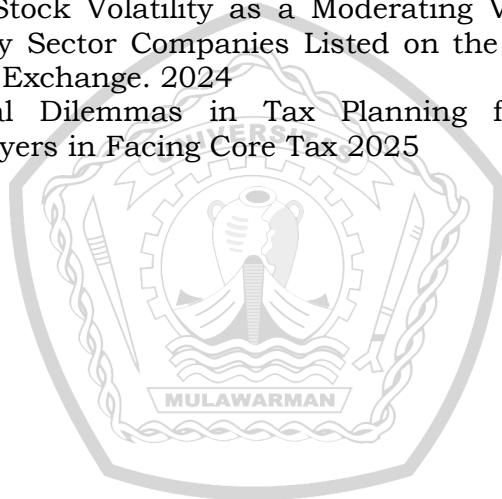
SERTIFIKASI KOMPETENSI

1. Certified Sustainability Reporting Specialist 2021
2. Certified International Qualitative Researcher 2021
3. Certified Sustainability Reporting Assurer 2022
4. Certified Management Accountant 2023
5. Certificate In Business Valuation 2024

SEMINAR NASIONAL / SEMINAR INTERNASIONAL / KONFERENSI INTERNASIONAL

1. Peran Kepemilikan Immediate Terhadap Manajemen Laba dan Penghindaran Pajak Dalam Perspektif Political Cost Hypotesis 2018
2. Taxpayer's perceptions of tax shelter: antecedents and determinants 2020
3. Influence of Environmental Cost on the Eco-Efficiency 2022

4. Personal Cost and Whistleblowing Intention: An Indonesian Perspective 2022
5. Influence Of Environmental Cost On Ecoefficiency: Effect Environmental Disclosure 2022
6. The Role of Investigation in Fraud Disclosure. 2023
7. Cash Holding, Immediate Ownership, Investment And Dividend: Opportunistic Hypothesis and Efficient Hypothesis Perspective. 2023
8. Has Intellectual Capital and Sustainability Report Disclosure Affected the Profitability of Mining Sector Industries in Indonesia?. 2024
9. The Effect of Capital Structure on Financial Distress with Stock Volatility as a Moderating Variable in Energy Sector Companies Listed on the Indonesia Stock Exchange. 2024
10. Ethical Dilemmas in Tax Planning for MSME Taxpayers in Facing Core Tax 2025





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Sifriyani, S.Pd., M.Si.

INTEGRASI REGRESI NONPARAMETRIK DAN
STATISTIKA SPASIAL DALAM ANALISIS
FENOMENA KOMPLEKS: KONTRIBUSI STATISTIK
INDONESIA DI ERA BIG DATA

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Sifriyani, S.Pd., M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. PENDAHULUAN	6
1.1. Permasalahan dan Keterbatasan Statistika Parametrik dalam Menangani Data Kompleks	7
1.2. Tujuan dan Kontribusi Orasi Ilmiah	9
1.3. Ruang Lingkup dan Sistematika Penulisan	9
B. REGRESI NONPARAMETRIK PENDEKATAN FLEKSIBEL UNTUK PEMODELAN FENOMENA KOMPLEKS	11
2.1. Konsep Dasar Regresi Nonparametrik	11
2.2. Pengembangan Regresi Nonparametrik dengan Estimator Campuran Spline Truncated dan Kernel Epanechnikov Serta Penerapan Berbasis Program Komputasi Pada Data Demam Berdarah Dengue (DBD)	17
2.3. Evaluasi Kinerja Fungsi Kernel Gauss dan Kuartik dalam Integrasi Regresi Nonparametrik dan Statistika Spasial	24
2.4. Keunggulan dan Tantangan Regresi Nonparametrik	27
C. STATISTIKA SPASIAL DALAM INOVASI MODEL DAN APLIKASI ANALISIS FENOMENA KOMPLEKS	28
3.2. Teori Dasar Statistika Spasial	28
3.3. Pengembangan Geographically Temporally Weighted Regression dengan Fungsi Jarak Improved Spatial-Timeseries dan Aplikasi Pemodelan Covid-19.	30
3.4. Pemodelan Geographically Temporally Weighted Regression (GTWR) untuk 56 Kabupaten/Kota di Kalimantan	1
D. INTEGRASI REGRESI NONPARAMETRIK DAN STATISTIKA SPASIAL DALAM PENGEMBANGAN MODEL	7
4.1. Konsep Integrasi Regresi Nonparametrik dan Statistik Spasial	7

4.2.	Peran Regresi Spline Nonparametrik dalam Analisis Data Spasial	8
4.3.	Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression	9
4.4.	Pemilihan Titik Knot Optimal dan Pembobot Geografis Terbaik pada Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression... 11	
4.5.	Keutamaan Model GWSNR dengan model spasial lainnya	22
E.	PENERAPAN REGRESI NONPARAMETRIK SPASIAL DALAM KETAHANAN PANGAN DAN ANALISIS BIG DATA.....	24
5.1.	Pemodelan Ketahanan Pangan dengan Regresi Nonparametrik Spasial GWSNR	25
	DAFTAR PUSTAKA	36
	UCAPAN TERIMA KASIH	47
	CURRICULUM VITAE	51



SINOPSIS

Kemajuan teknologi dan era *Big Data* telah menghasilkan volume data yang besar, kompleks, dan memiliki ketergantungan spasial serta temporal. Tantangan dalam analisis data yang berkembang pesat saat ini, memerlukan metode statistik yang lebih adaptif dan fleksibel. Regresi nonparametrik menjadi salah satu solusi yang menawarkan fleksibilitas dalam menangkap hubungan kompleks tanpa memerlukan asumsi bentuk fungsi tertentu. Di sisi lain, Statistika spasial memungkinkan pemodelan yang mempertimbangkan aspek geografis, sehingga lebih akurat dalam menganalisis data yang memiliki dependensi lokasi. Integrasi kedua pendekatan ini dapat memahami fenomena kompleks yang berkembang pesat.

Beberapa penelitian yang telah kami lakukan seperti analisis model indeks ketahanan pangan dan epidemiologi penyakit, di mana pola hubungan antar variabel dapat berubah secara dinamis dalam dimensi spasial dan temporal. Dengan semakin pesatnya pertumbuhan data yang bersifat heterogen, dinamis, dan memiliki keterkaitan geografis, pendekatan statistik yang mampu mengakomodasi kompleksitas ini menjadi kebutuhan. Oleh karena itu, pengembangan model berbasis regresi nonparametrik yang terintegrasi dengan statistika spasial menjadi langkah strategis dalam menjawab tantangan analisis data di era Big Data.

Kontribusi ilmiah dan temuan utama. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan metode statistik yang lebih akurat dalam menangani data spasial dan temporal. Dalam penelitian kami terbaru, dikembangkan model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR) untuk mengatasi heterogenitas spasial dalam analisis Indeks Ketahanan Pangan di Indonesia. Model ini

mengkombinasikan regresi spline nonparametrik dengan pembobotan geografis untuk menemukan titik knot optimal dan fungsi pembobotan terbaik. Berbeda dengan pendekatan sebelumnya, penelitian ini mengeksplorasi metode pemilihan titik knot yang lebih beragam, termasuk pendekatan berbasis Mean Squared Error (MSE) dan eksplorasi terhadap beberapa konfigurasi knot, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Hasil analisis menunjukkan bahwa model ini mampu mengidentifikasi 10 klasifikasi wilayah berdasarkan pengaruh variabel prediktor terhadap ketahanan pangan nasional. Model ini juga menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti produksi pangan, tingkat kemiskinan, pengeluaran untuk pangan, dan jumlah penduduk dengan konsumsi pangan tidak mencukupi memiliki pengaruh yang signifikan dan bervariasi antar provinsi.

Selain aplikasi dalam ketahanan pangan, penelitian kami lainnya mengembangkan model Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) yang diterapkan pada epidemiologi spasial COVID-19 di 56 kabupaten/kota di Kalimantan. Model ini mempertimbangkan interaksi antara faktor geografis dan temporal, sehingga dapat menangkap dinamika penyebaran penyakit secara lebih akurat dibandingkan model regresi spasial sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor signifikan yang mempengaruhi peningkatan kasus COVID-19 meliputi jumlah dokter, kasus tuberkulosis, persentase penduduk lanjut usia, kepadatan penduduk, dan jumlah rumah sakit. Model GTWR terbukti lebih unggul dibandingkan regresi linear dalam menangkap pola penyebaran kasus yang dinamis dan bervariasi antarwilayah.

Sebagai pengembangan lebih lanjut, penelitian kami terbaru memperkenalkan konstruksi model Geographically and Temporally Weighted Spline Nonparametric Regression (GTWSNR). Model ini merupakan perluasan dari GTWR yang

mengintegrasikan regresi spline nonparametrik dengan pembobotan spasial dan temporal, sehingga mampu mengakomodasi efek lokasi dan waktu secara simultan. Keunggulan utama GTWSNR dibandingkan model sebelumnya adalah kemampuannya dalam menangani fungsi regresi yang tidak diketahui berbasis spatio temporal, sehingga lebih fleksibel dalam menangkap hubungan kompleks antar variabel. Model ini telah diterapkan pada data produktivitas padi dari 34 provinsi di Indonesia, menunjukkan bahwa GTWSNR menghasilkan estimasi yang lebih akurat dibandingkan model GTWR.

Kebaharuan Penelitian. Pengembangan model regresi spatio-temporal berbasis nonparametrik untuk menangani ketidakstasioneran data spasial dan temporal secara simultan, yang belum dapat diakomodasi oleh model GTWR klasik. Eksplorasi berbagai metode pemilihan titik knot dalam model GWSNR dan GTWSNR, yang menghasilkan konfigurasi optimal berdasarkan karakteristik data. Aplikasi model pada berbagai bidang, seperti ketahanan pangan dan epidemiologi, yang membuktikan efektivitasnya dalam menangani data kompleks di era *Big Data*.

Penelitian kami telah menghasilkan beberapa publikasi terindeks Scopus yang berkontribusi dalam pengembangan model statistik untuk analisis spasial dan temporal. Kami mengembangkan estimasi regresi nonparametrik dengan pendekatan spline dan kernel untuk memodelkan penyebaran demam berdarah, serta mengusulkan model regresi panel berbobot geografis (GWPR) guna menganalisis pola spasio-temporal kasus COVID-19 di Kalimantan. Selain itu, penelitian kami juga mengevaluasi fungsi pembobot terbaik dalam GWPR untuk meningkatkan estimasi model spasio-temporal. Di luar penelitian akademik, kami turut aktif dalam berbagai kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) dengan menerapkan metode statistik dalam analisis data spasial untuk mendukung pengambilan kebijakan berbasis data.

Integrasi regresi nonparametrik dengan pendekatan spasial dan temporal dapat diterapkan secara luas dalam berbagai bidang. Keunggulan utama dari pendekatan ini adalah kemampuannya untuk menangkap kompleksitas hubungan antarvariabel yang tidak linier serta mempertimbangkan efek lokasi dan waktu secara simultan, sehingga memberikan hasil yang lebih relevan dan aplikatif dalam pengambilan kebijakan berbasis data.

Implikasi dan Rekomendasi. Hasil penelitian ini memberikan implikasi yang luas terhadap pengambilan kebijakan berbasis data di berbagai sektor, khususnya dalam ketahanan pangan, epidemiologi, dan perencanaan wilayah. Dengan pengembangan model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR) dan Geographically and Temporally Weighted Spline Nonparametric Regression (GTWSNR) yang telah kami kembangkan, analisis data spasial dan temporal menjadi lebih akurat dan adaptif dalam menangkap pola hubungan antarvariabel yang kompleks dan tidak linier.

Rekomendasi Kolaborasi Multidisiplin. Mengingat kompleksitas data spasial dan temporal, kolaborasi antara berbagai disiplin ilmu seperti statistik, data sains, ekonomi, dan kebijakan publik sangat diperlukan. Hal ini akan memungkinkan pengembangan metode yang lebih kuat dan aplikatif untuk menyelesaikan berbagai permasalahan di era *Big Data*.

Orasi ini menegaskan bahwa integrasi regresi nonparametrik dan statistika spasial menawarkan solusi inovatif dalam menghadapi tantangan analisis data modern. Dengan pendekatan yang lebih fleksibel dan berbasis geografis, model ini dapat meningkatkan pemahaman terhadap berbagai fenomena kompleks yang sebelumnya sulit diukur dengan metode sebelumnya. Diharapkan, penelitian yang telah kami laksanakan, dapat berkontribusi dalam

pengembangan ilmu statistik serta mendukung pembuatan kebijakan yang lebih berbasis bukti. Selain itu, orasi ini juga mengajak akademisi, peneliti, dan mahasiswa untuk terus mengembangkan metode statistik yang relevan dengan kebutuhan era *Big Data*, guna menjawab tantangan keilmuan yang semakin dinamis.



A. PENDAHULUAN

Dalam era digital dan big data, tantangan dalam analisis data semakin kompleks, terutama ketika menghadapi data dengan karakteristik yang rumit, nonlinier, dan berorientasi spasial. Regresi nonparametrik muncul sebagai metode yang kuat dalam mengatasi keterbatasan model parametrik berkat fleksibilitas tinggi yang ditawarkannya. Di sisi lain, statistika spasial memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap pola-pola geografis yang terdapat dalam data. Integrasi kedua pendekatan regresi nonparametrik dan statistika spasial memberikan wawasan yang lebih komprehensif terhadap fenomena multidimensi di berbagai bidang.

Fenomena kompleks yang muncul dalam berbagai disiplin ilmu seperti ekonomi, lingkungan, kesehatan, dan sosial sering kali melibatkan pola dinamis yang tidak linier. Data yang diperoleh dari penelitian di bidang ini sering kali memiliki karakteristik yang tidak dapat dimodelkan secara akurat dengan pendekatan statistik klasik. Oleh karena itu, diperlukan metode analisis yang lebih fleksibel untuk menangkap pola yang mendasari data tersebut.

Regresi nonparametrik telah berkembang sebagai metode utama dalam menganalisis ketidakpastian bentuk fungsi dalam data. Dengan tidak mengasumsikan bentuk fungsi tertentu antara variabel independen dan dependen, regresi nonparametrik memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam mendeteksi hubungan yang kompleks. Namun, regresi nonparametrik memiliki keterbatasan dalam menangani data dengan ketergantungan spasial, masalah yang sering kali muncul dalam studi yang melibatkan dimensi geografis.

Di sisi lain, statistika spasial menjadi pendekatan yang efektif dalam menganalisis data dengan dimensi geografis. Statistika spasial memungkinkan peneliti

untuk memahami pola distribusi dan hubungan antar lokasi, yang sering kali tidak dapat ditangkap oleh metode statistika Parametrik. Namun, metode statistika spasial pun menghadapi tantangan dalam menangkap hubungan nonlinier yang kompleks.

Oleh karena itu, integrasi antara regresi nonparametrik dan statistika spasial menawarkan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan akurasi dan interpretabilitas analisis data fenomena kompleks. Melalui pendekatan ini, kita dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pola dan dinamika yang terjadi dalam berbagai bidang ilmu.

Integrasi regresi nonparametrik dan statistika spasial memungkinkan pemodelan yang lebih fleksibel dengan mempertimbangkan pola spasial yang kompleks serta hubungan nonlinier dalam data. Regresi nonparametrik dapat mengakomodasi hubungan yang tidak diketahui sebelumnya, sementara statistika spasial mempertimbangkan struktur ketergantungan spasial yang ada. Kombinasi kedua pendekatan ini meningkatkan akurasi estimasi dan memberikan interpretasi yang lebih mendalam terhadap hasil analisis, sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan keputusan yang lebih informatif dalam berbagai bidang penelitian. Dengan mengintegrasikan regresi nonparametrik dan statistika spasial, diharapkan analisis data dapat lebih komprehensif, mampu menangkap hubungan yang kompleks, dan menghasilkan prediksi yang lebih akurat serta lebih mudah dipahami.

1.1. Permasalahan dan Keterbatasan Statistika Parametrik dalam Menangani Data Kompleks

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong peningkatan jumlah dan kompleksitas data yang tersedia di berbagai bidang, termasuk ekonomi, kesehatan, lingkungan, dan ketahanan pangan. Di era big data, tantangan utama dalam analisis data bukan hanya sekadar memperoleh informasi, tetapi juga

bagaimana mengolah data dengan metode yang tepat agar dapat menghasilkan wawasan yang akurat dan relevan.

Metode statistika yang selama ini digunakan dalam analisis data, seperti regresi parametrik, memiliki keterbatasan dalam menangani fenomena yang kompleks. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor utama, antara lain keterbatasan dalam menangkap hubungan nonlinear, ketergantungan spasial dan temporal, serta kesulitan dalam mengelola data berdimensi tinggi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih fleksibel dan adaptif yang dapat menyesuaikan diri dengan struktur data tanpa bergantung pada asumsi ketat. Beberapa keterbatasan utama metode konvensional adalah sebagai berikut:

1. Ketergantungan pada Asumsi Parametrik

Model seperti regresi linier mensyaratkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat berbentuk linear. Padahal, banyak fenomena kompleks yang menunjukkan pola hubungan yang tidak linier. Selain itu, asumsi distribusi normal pada residual sering kali tidak terpenuhi, terutama dalam analisis data berskala besar dan heterogen.

2. Kelemahan dalam Mengakomodasi Data Berdimensi Tinggi

Dalam banyak kasus, analisis data tidak hanya melibatkan beberapa variabel, tetapi juga ratusan atau bahkan ribuan variabel prediktor. Metode parametrik cenderung mengalami curse of dimensionality, di mana semakin banyak variabel, semakin sulit menemukan hubungan yang signifikan tanpa overfitting.

3. Kesulitan dalam Menangani Ketergantungan Spasial dan Temporal

Banyak fenomena di dunia nyata tidak dapat dianalisis secara independen, melainkan memiliki pola ketergantungan antar lokasi dan waktu. Model regresi linier tidak memiliki mekanisme bawaan untuk menangani data spasial yang memiliki autokorelasi

geografis atau data deret waktu yang memiliki tren dan siklus yang dinamis.

4. Kurang Adaptif terhadap Data dalam Skala Besar (Big Data)

Dengan semakin besarnya volume data, metode statistika parametrik sering mengalami kendala dalam komputasi dan efisiensi pemodelan. Model statistika parametrik tidak dirancang untuk menangani data dalam jumlah besar dan beragam sumber.

1.2. Tujuan dan Kontribusi Orasi Ilmiah

Orasi ilmiah ini bertujuan untuk mengidentifikasi keterbatasan metode parametrik dalam analisis data kompleks serta mengembangkan pendekatan integratif yang menggabungkan regresi nonparametrik dan statistik spasial. Selain itu, orasi ini juga menyajikan berbagai aplikasi metode tersebut dalam berbagai bidang, seperti ketahanan pangan dan epidemiologi, serta menawarkan solusi analitik yang lebih fleksibel dan adaptif dalam menghadapi tantangan era big data.

Orasi ilmiah ini berkontribusi dalam tiga aspek utama, yaitu teoritis, metodologis, dan praktis. Secara teoritis, orasi ini mengembangkan konsep integrasi regresi nonparametrik dan statistik spasial. Dari sisi metodologis, pendekatan yang diusulkan menyediakan teknik estimasi adaptif untuk data spasial-temporal. Sementara itu, secara praktis, orasi ini memberikan rekomendasi berbasis data yang dapat mendukung pengambilan keputusan di berbagai sektor.

Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi analisis, mendukung kebijakan berbasis data, dan memperkuat ketahanan pangan serta sektor strategis lainnya.

1.3. Ruang Lingkup dan Sistematika Penulisan

Buku ini akan mencakup pembahasan mengenai teori, metode, serta aplikasi dari regresi nonparametrik dan statistik spasial. Sistematika penulisan buku ini adalah sebagai berikut:

A. Pendahuluan

Bab ini membahas latar belakang serta permasalahan yang dihadapi dalam analisis data kompleks, terutama keterbatasan statistika parametrik dalam menangani fenomena yang memiliki karakteristik nonlinier dan spasial. Selain itu, dijelaskan tujuan dan kontribusi orasi ilmiah ini dalam pengembangan metode statistik yang lebih adaptif serta ruang lingkup dan sistematika penulisan yang digunakan.

B. Regresi Nonparametrik Pendekatan Fleksibel untuk Pemodelan Fenomena Kompleks

Dalam bab ini, diuraikan konsep dasar regresi nonparametrik sebagai metode yang lebih fleksibel dibandingkan pendekatan parametrik. Selanjutnya, dibahas pengembangan regresi nonparametrik dengan estimator campuran Spline Truncated dan Kernel Epanechnikov serta penerapannya dalam pemodelan data Demam Berdarah Dengue (DBD). Selain itu, dievaluasi kinerja fungsi Kernel Gauss dan Kuartik dalam mengintegrasikan regresi nonparametrik dengan statistika spasial. Bab ini juga mengulas keunggulan serta tantangan dalam implementasi regresi nonparametrik di berbagai bidang penelitian.

C. Statistika Spasial dalam Inovasi Model dan Aplikasi Analisis Fenomena Kompleks

Bab ini menguraikan teori dasar statistika spasial sebagai pendekatan untuk menangani data yang memiliki dimensi geografis dan temporal. Fokus utama diberikan pada pengembangan model Geographically Temporally Weighted Regression (GTWR) dengan fungsi jarak Improved Spatial-

Timeseries, yang dikaji lebih lanjut dalam konteks pemodelan penyebaran Covid-19.

D. Integrasi Regresi Nonparametrik dan Statistika Spasial dalam Pengembangan Model

Bab ini membahas integrasi regresi nonparametrik dan statistika spasial untuk analisis fenomena kompleks. Fokusnya meliputi peran regresi Spline Nonparametrik dalam data spasial, pengembangan Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR), serta strategi pemilihan titik knot optimal dan pembobot geografis terbaik. Selain itu, dibahas tahapan pembangunan, inferensi, dan validasi model, serta keunggulan GWSNR dibandingkan model spasial lainnya.

E. Penerapan Regresi Nonparametrik Spasial dalam Ketahanan Pangan dan Analisis Big Data.

Bab terakhir ini menyajikan penerapan metode GWSNR dalam pemodelan ketahanan pangan, sebagai salah satu contoh implementasi regresi nonparametrik spasial dalam bidang yang strategis. Selain itu, dibahas arah pengembangan penelitian di bidang regresi nonparametrik dan statistika spasial, khususnya dalam menghadapi tantangan analisis data di era Big Data.

B. REGRESI NONPARAMETRIK PENDEKATAN FLEKSIBEL UNTUK PEMODELAN FENOMENA KOMPLEKS

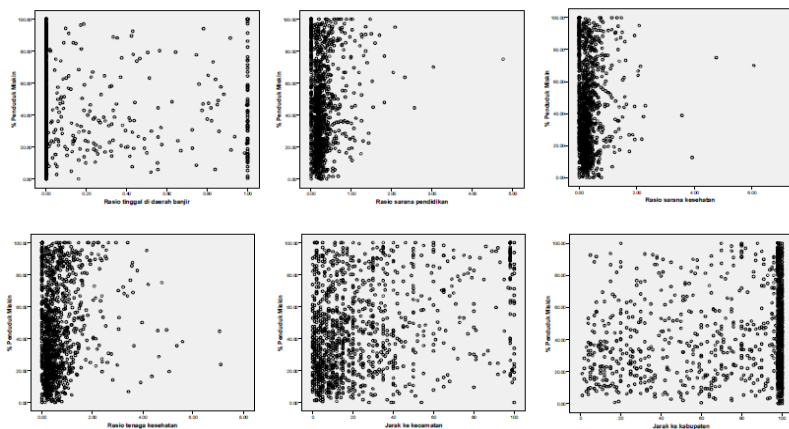
2.1. Konsep Dasar Regresi Nonparametrik

Regresi nonparametrik adalah suatu pendekatan dalam pemodelan statistik yang tidak mengasumsikan bentuk spesifik dari hubungan antara variabel independen dan variabel dependen. Berbeda dengan

regresi parametrik yang mengharuskan pemilihan bentuk fungsi tertentu (misalnya, linear atau logistik), regresi nonparametrik memberikan fleksibilitas untuk menangkap hubungan yang lebih kompleks tanpa mengandalkan asumsi tertentu mengenai bentuk fungsinya.

Keuntungan utama dari regresi nonparametrik terletak pada kemampuannya untuk mengakomodasi hubungan yang tidak linier dan tidak terstruktur dalam data. Hal ini sangat berguna ketika hubungan antara variabel independen dan dependen tidak dapat diprediksi dengan baik menggunakan model parametrik yang lebih kaku. Oleh karena itu, regresi nonparametrik sering digunakan dalam konteks data yang rumit, di mana pola hubungan antarvariabel belum diketahui atau sulit untuk diasumsikan.

Pendekatan regresi nonparametrik tidak tergantung pada asumsi bentuk kurva regresi tertentu, sehingga cenderung akan memberikan fleksibilitas yang baik. Dalam pandangan regresi nonparametrik, data akan mencari sendiri bentuk estimasi dari kurva regresi tanpa perlu adanya subjektivitas dari peneliti.



Gambar 2.1 Pola tidak diketahui

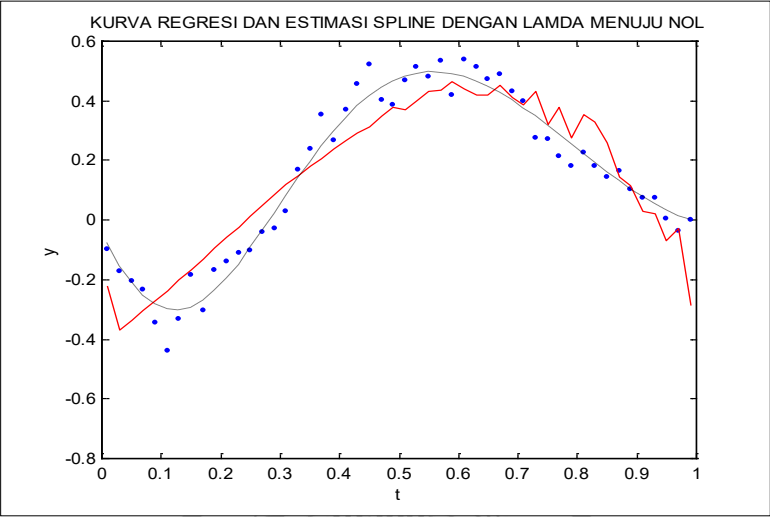
Regresi parametrik, nonparametrik, dan semiparametrik berbeda dalam asumsi terhadap bentuk hubungan antara variabel. Regresi parametrik mengasumsikan bentuk fungsi tertentu dengan parameter tetap yang diestimasi dari data, sehingga lebih sederhana namun kurang fleksibel jika asumsi tidak terpenuhi. Regresi nonparametrik tidak menetapkan bentuk fungsi sebelumnya, melainkan membiarkan data menentukan pola hubungan, sehingga lebih fleksibel tetapi membutuhkan lebih banyak data dan komputasi. Regresi semiparametrik menggabungkan kedua pendekatan dengan menggunakan komponen parametrik untuk variabel tertentu dan komponen nonparametrik untuk menangkap pola yang lebih kompleks, sehingga menawarkan keseimbangan antara interpretabilitas dan fleksibilitas (Sifriyani, Dani ATR, et al 2023).

Tabel 2.1 Komparasi Regresi Parametrik, Nonparametrik, dan Semiparametrik

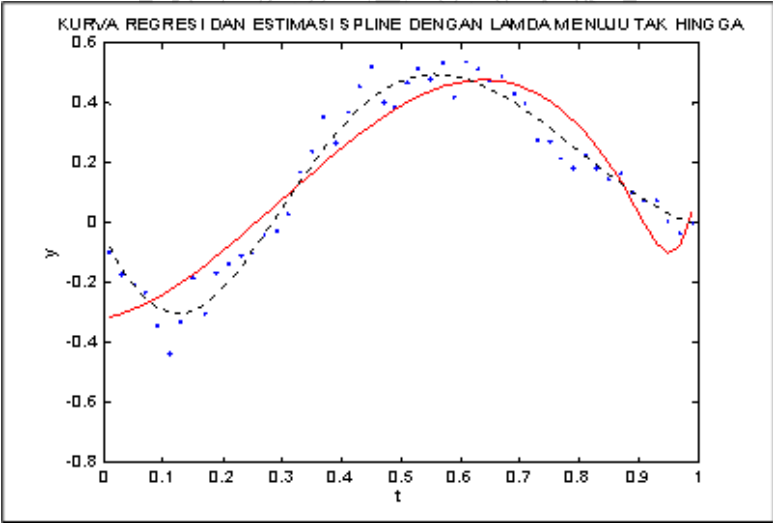
No	Uraian	Analisis Regresi		
		Regresi Parametrik	Regresi Nonparametrik	Regresi Semiparametrik
1.	Jenis model	Linear Sederhana, Berganda, Kuadrat, Kubik, Polinomial, Eksponensial, dll	Kernel, Spline, Deret Fourier, Polinomial Lokal, Wavelets, MARS, dll	Linear-Spline, Linear-Kernel, Linear Deret Fourier, Kuadratik-Spline, dll
2.	Bentuk kurva regresi	Diasumsikan diketahui	Diasumsikan tidak diketahui	Sebagian diasumsikan diketahui, sebagian lagi tidak
3.	Konsep dasar estimasi	Cenderung Kaku	Fleksibel	Fleksibel
4.	Metode Estimasi	Ordinary Least	Ordinary Least Squares	Ordinary Least Squares (OLS),

No	Uraian	Analisis Regresi		
		Regresi Parametrik	Regresi Nonparametrik	Regresi Semiparametrik
	si Parameter yang umum digunakan	<i>Squares (OLS), Maximum Likelihood Estimation (MLE), Weighted Least Squares (WLS), dll</i>	<i>(OLS), Maximum Likelihood Estimation (MLE), Weighted Least Squares (WLS), Penalized Least Squares (PLS), dll</i>	<i>Maximum Likelihood Estimation (MLE), Weighted Least Squares (WLS), Penalized Least Squares (PLS), dll</i>
5.	Hasil Estimator	Parsimoni	Cenderung kompleks	Cenderung kompleks
8.	Sifat Estimator	a. Estimator linear b. Tidak bias c. Konsisten d. BLUE e. Konvergen lebih cepat f. Inferensi dengan sampel kecil dan sampel besar (asimtotik)	a. Estimator linear b. Bias c. Konsisten d. Tidak BLUE e. Konvergen lambat f. Inferensi dengan sampel besar (asimtotik)	a. Estimator linear b. Bias c. Konsisten d. Tidak BLUE e. Konvergen lambat f. Inferensi dengan sampel besar (asimtotik)

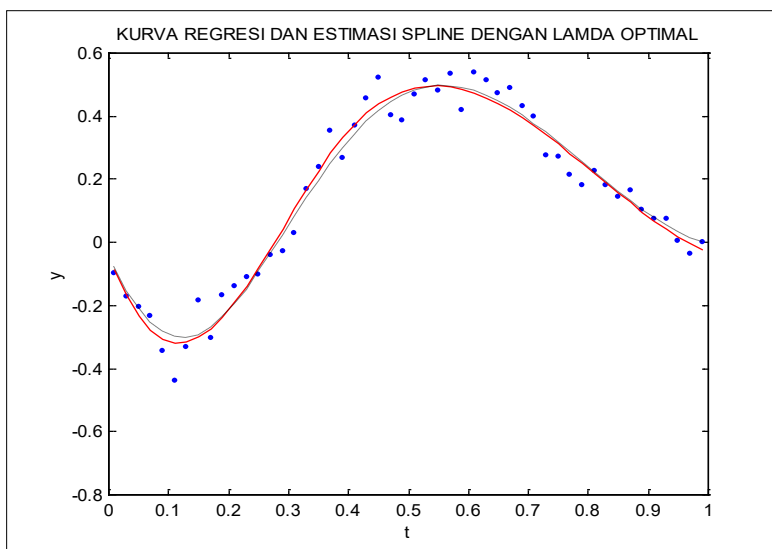
Pada regresi nonparametrik, tujuan utama adalah untuk mengestimasi fungsi hubungan antara variabel independen dan dependen secara langsung dari data, tanpa membuat asumsi tentang bentuk fungsinya. Berbagai metode estimasi digunakan untuk mencapai tujuan ini, masing-masing dengan pendekatan yang berbeda dalam menangkap pola hubungan dalam data (Sifriyani, Dani ATR, et al 2023).



Gambar 2.2 kurva regresi dan estimasi dengan lamda



Gambar 2.3 kurva regresi dan estimasi dengan lamda



Gambar 2.4 kurva regresi dan estimasi dengan lamda optimal (Budiantara, 2017)

Regresi Nonparametrik dengan Estimasi Kernel

Estimasi kernel adalah salah satu metode yang paling umum digunakan dalam regresi nonparametrik. Metode ini berfokus pada estimasi fungsi regresi dengan menggunakan kernel atau bobot yang didasarkan pada jarak antara titik data yang diamati. Estimasi kernel bekerja dengan cara menghitung rata-rata tertimbang dari nilai variabel dependen di sekitar titik tertentu, di mana bobot yang diberikan lebih besar pada titik yang lebih dekat dan lebih kecil pada titik yang lebih jauh.

Fungsi regresi yang dihasilkan dari estimasi kernel adalah permukaan yang halus, yang dapat menangkap pola hubungan yang sangat fleksibel dalam data. Meskipun demikian, salah satu tantangan utama dalam estimasi kernel adalah pemilihan bandwidth (lebar jendela), yang mengontrol seberapa luas jangkauan bobot kernel diterapkan. Pemilihan bandwidth yang tidak tepat dapat mengakibatkan underfitting atau overfitting model.

Smoothing Splines

Smoothing spline adalah metode regresi nonparametrik yang menggunakan fungsi spline (fungsi potongan polinomial) untuk mengestimasi hubungan antara variabel. Fungsi spline yang digunakan dalam smoothing spline dihaluskan sedemikian rupa untuk menyeimbangkan antara kecocokan data (fit) dan kehalusan (smoothness) fungsi regresi. Dengan cara ini, smoothing spline dapat menangkap hubungan yang nonlinier dengan cara yang lebih fleksibel daripada model linier atau parametrik lainnya.

Salah satu keuntungan dari smoothing spline adalah kemampuannya untuk menangani data yang mengandung noise atau variasi yang tinggi, sambil tetap menjaga kelancaran fungsi yang dihasilkan. Namun, salah satu tantangan dalam penggunaan smoothing spline adalah penentuan parameter yang tepat, seperti derajat polinomial dan parameter regularisasi, yang mempengaruhi keseimbangan antara kecocokan dan kehalusan.

2.2. Pengembangan Regresi Nonparametrik dengan Estimator Campuran Spline Truncated dan Kernel Epanechnikov Serta Penerapan Berbasis Program Komputasi Pada Data Demam Berdarah Dengue (DBD)

Diberikan data berpasangan $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}, t_{1i}, t_{2i}, \dots, t_{qi}, y_i)$ dan hubungan antara variable prediktor $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}, t_{1i}, t_{2i}, \dots, t_{qi}$ dan variabel respon y_i diasumsikan mengikuti model regresi nonparametrik:

$$y_i = \mu(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}, t_{1i}, t_{2i}, \dots, t_{qi}) + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

Bentuk kurva regresi $\mu(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}, t_{1i}, t_{2i}, \dots, t_{qi})$ diasumsikan tidak diketahui dan hanya diasumsikan *smooth* yang artinya kontinu dan differentiable. Error

random ε_i berdistribusi Normal dengan mean nol dan varians σ^2 (Sifriyani, Budiantara, et al, 2023, Sifriyani, Dani A.T.R., et al 2023).

Untuk mendapatkan estimator campuran regresi Spline dan Kernel, pertama kurva regresi $f_s(x_{si})$ dihamperi dengan fungsi Spline truncated derajat m_s dan titik knot $\lambda_s = (\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \dots, \lambda_{sr})'$. Selanjutnya kurva regresi $g_k(t_{ki})$ dihamperi dengan fungsi Kernel. Misalkan diberikan basis untuk ruang sampel Spline $1, x, x^2, \dots, x^{m_s}, (x - \lambda_{s1})^{m_s}I(x \geq \lambda_{s1}), \dots, (x - \lambda_{sr})^{m_s}I(x \geq \lambda_{sr})$, dengan I merupakan fungsi indicator. Kurva regresi $f_s(x_{si})$ dapat ditulis menjadi:

$$f_s(x_{si}) = \theta_{s1} + \theta_{s1}x_{si} + \theta_{s2}x_{si}^2 + \dots + \theta_{sm_s}x_{si}^{m_s} + \phi_{s1}(x_{si} - \lambda_{s1})_+^{m_s} + \dots + \phi_{sr}(x_{si} - \lambda_{sr})_+^{m_s},$$

Dengan $\theta_{s0}, \theta_{s1}, \dots, \theta_{sm_s}, \phi_{s1}, \dots, \phi_{sr}$ merupakan parameter-parameter yang tidak diketahui. Untuk estimasi kurva regresi $g_k(t_{ki})$ dapat disajikan menjadi:

$$\begin{aligned} \hat{g}_{\alpha_k}(t) &= n^{-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_{\alpha_k}(t - t_i)}{n^{-1} \sum_{j=1}^n K_{\alpha_k}(t - t_j)} \right) y_i \\ &= n^{-1} \sum_{i=1}^n W_{\alpha_k i}(t) y_i, \end{aligned} \quad (2.2)$$

Lemma 1

Jika diberikan model regresi (2.1) dan estimator untuk regresi kernel diberikan oleh persamaan (2.2) maka jumlah kuadrat error diberikan oleh:

$$\|\varepsilon\|^2 = \|[\mathbf{I} - \mathbf{M}(\alpha)]\mathbf{y} - \mathbf{X}(\lambda)\|^2,$$

dengan $\|\varepsilon\|^2$ merupakan Panjang vektor

$$\varepsilon, \mathbf{y} = (y_1 \quad y_2 \quad \dots \quad y_n)'$$

$$\mathbf{X}(\lambda) = (\mathbf{X}_1 \ \mathbf{X}_2(\lambda)), \beta = \begin{pmatrix} \theta \\ \Phi \end{pmatrix}, \text{ dan}$$

$$\mathbf{M}(\alpha) = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k 1}(t_1) & \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k 2}(t_1) & L & \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k n}(t_1) \\ \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k 1}(t_2) & \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k 2}(t_2) & L & \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k n}(t_2) \\ M & M & M & M \\ \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k 1}(t_n) & \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k 2}(t_n) & L & \sum_{k=1}^q W_{\alpha_k n}(t_n) \end{pmatrix}$$

(Sifriyani, Budiantara, et al, 2023)

Teorema 1

Jika jumlah kuadrat error dari model regresi nonparametric diberikan oleh Lemma 2, error model berdistribusi Normal multivariat dengan mean nol dan $E(\varepsilon\varepsilon') = \sigma^2 I$ dan $L(\beta, \sigma^2 | \alpha, \lambda)$ adalah fungsi likelihood, maka estimator MLE untuk vektor parameter β diperoleh optimasi:

$$\begin{aligned} \underset{\beta \in R^{\sum_{i=1}^p (m_i + r_i + 1)}}{\text{Max}} \quad & \{L(\beta, \sigma^2 | \alpha, \lambda)\} \\ = \quad & \underset{\beta \in R^{\sum_{i=1}^p (m_i + r_i + 1)}}{\text{Min}} \quad \{\| [I - M(\alpha)]y - X(\lambda)\beta \|^2 \} \end{aligned}$$

(Sifriyani, Budiantara, et al, 2023)

Teorema 2

Jika diberikan model regresi (2.1), jumlah kuadrat error diberikan oleh Lemma 1, error model berdistribusi Normal multivariat dengan mean nol dan $E(\varepsilon\varepsilon') = \sigma^2 I$, dan estimator MLE untuk parameter β diperoleh dari optimasi seperti pada Teorema 1, maka estimator MLE untuk kurva regresi campuran $\mu(x, t)$ diberikan oleh:

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{\alpha\lambda}(x, t) &= \hat{f}_{\alpha\lambda}(x, t) + \hat{g}_{\alpha}(t) \\ \text{dimana } \hat{f}_{\alpha\lambda}(x, t) &= X(\lambda)\hat{\beta}(\lambda, \alpha), \hat{g}_{\alpha}(t) = M(\alpha)y, \text{ dan} \end{aligned}$$

$$\hat{\beta}(\lambda, \alpha) = [(X(\lambda))'X(\lambda)]^{-1}(X(\lambda))'(I - M(\alpha))y, \text{ dengan matrik } X(\lambda) \text{ dan } M(\alpha) \text{ diberikan oleh Lemma 1.}$$

(Sifriyani, Budiantara, et al, 2023)

Penerapan Pada Data Dengue Hemorrhagic Fever (DHF)

DHF merupakan masalah kesehatan yang serius di Indonesia. Model regresi nonparametrik digunakan untuk memahami faktor-faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan kasus DHF. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi estimator spline terpotong (truncated spline) dan kernel Gaussian untuk membangun model regresi (Sifriyani, Dani A.T.R., et al 2023).

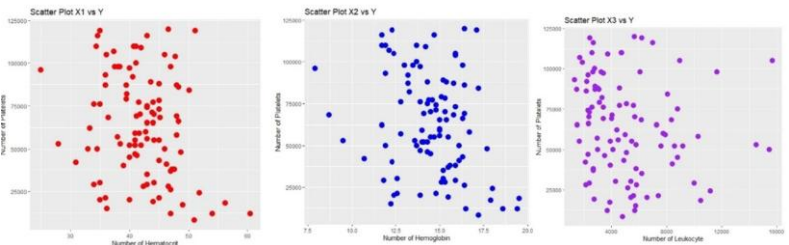
Metodologi: Penelitian ini menggunakan data sekunder dari Rumah Sakit Umum Wahab Syahrani, Samarinda. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 2.1 Variabel Dengue Hemorrhagic Fever (DHF)

Variabel	Deskripsi	Satuan	Skala
Jumlah trombosit pasien DHF saat pemeriksaan pertama (y)	Jumlah trombosit pasien DHF	μL	Kontinu
Jumlah Hematokrit (x_1)	Jumlah hematokrit dalam pasien DHF	%	Kontinu
Jumlah Hemoglobin (x_2)	Jumlah hemoglobin dalam pasien DHF	g/dL	Kontinu
Jumlah Leukosit (x_3)	Jumlah leukosit dalam pasien DHF	g/dL	Kontinu

Model regresi nonparametrik dengan estimator campuran digunakan untuk menangani variasi pola data antar prediktor. Model dibangun dengan mengestimasi regresi menggunakan spline terpotong untuk beberapa variabel dan kernel Gaussian untuk variabel lainnya. Pemilihan jumlah titik knot dan lebar pita optimal dilakukan menggunakan metode *Unbiased Risk* (UBR). Scatter plot menunjukkan pola hubungan antara variabel prediktor dan respons, digunakan sebagai dasar pemilihan estimator.

Berdasarkan Gambar 1, dapat ditentukan jenis estimator yang akan digunakan untuk setiap variabel prediktor. Rincian lebih lanjut mengenai hasil penentuan estimator disajikan dalam Tabel 2.2.



Gambar 2.1 Scatter Plot antara Variabel Respon dan Prediktor

Tabel 2.2. Komponen Estimator Truncated Spline dan Kernel

Variable	Notation	Description	Estimator
Predictor	x_1	Number of Hematocrit	Truncated Spline
	x_2	Number of Hemoglobin	
	v_1	Number of Leukocyte	Kernel

Pemodelan Menggunakan Estimator Campuran Truncated Spline dan Kernel

Model terbaik dari estimator campuran truncated spline dan kernel dipilih dengan melihat nilai Unbiased

Risk (UBR) terkecil dari beberapa model berdasarkan jumlah titik knot dan bandwidth yang berbeda. Dalam penelitian ini, jumlah knot yang digunakan sama untuk setiap variabel prediktor, yaitu 1 hingga 3 knot. Nilai bandwidth yang diuji berada dalam interval 0,05 hingga 5. Hasil pemodelan menggunakan estimator campuran truncated spline dan kernel disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Summary of Modeling Results

Number of Knot Point	Knot Point Location		Bandwidth	UBR Value
	x_1	x_2	v_1	
1 knot	37.21	11.90	0.55	97.46
2 knots	35.98	11.50	2.80	96.00
	37.21	11.90		
3 knots	44.53	14.30	2.55	99.26
	45.75	14.70		
	46.97	15.10		

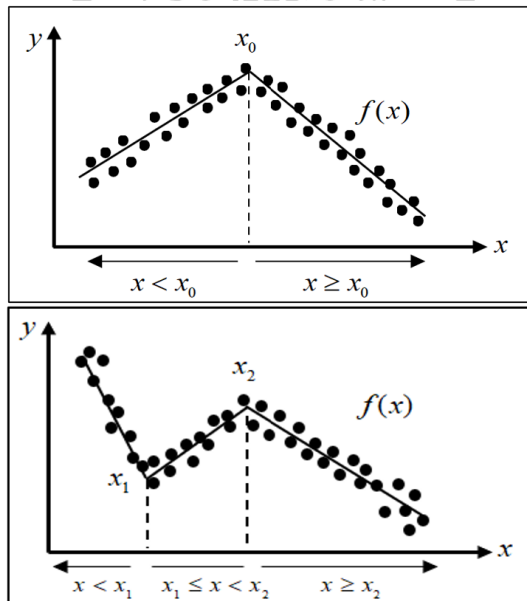
(Sifriyani, Dani A.T.R., et al 2023)

Pemodelan menggunakan estimator campuran spline terpotong dan kernel Gaussian memberikan model terbaik dengan 2 titik knot dan lebar pita optimal sebesar 2.80. Faktor-faktor yang mempengaruhi Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) dalam penelitian ini meliputi jumlah hematokrit, jumlah hemoglobin, dan jumlah leukosit dalam darah pasien. Jumlah hematokrit mencerminkan persentase volume sel darah merah, sementara jumlah hemoglobin menunjukkan kadar hemoglobin dalam darah, yang keduanya berperan dalam kondisi kesehatan pasien DHF. Selain itu, jumlah leukosit sebagai indikator respons imun juga berpengaruh terhadap perkembangan penyakit. Dengan menggunakan model regresi nonparametrik berbasis estimator campuran spline terpotong dan kernel Gaussian, penelitian ini menunjukkan bahwa faktor-faktor tersebut memiliki hubungan signifikan terhadap jumlah trombosit pasien

DHF, dengan koefisien determinasi sebesar 88.46%, menunjukkan akurasi model yang tinggi dalam menjelaskan variabilitas data (Sifriyani, Dani A.T.R., et al 2023).

Materi titik knot

Pada regresi nonparametrik *spline truncated* menentukan titik knot optimal menjadi hal yang sangat penting dan krusial. Titik knot merupakan titik perpaduan yang menunjukkan perubahan perilaku kurva pada selang yang berbeda. Oleh karena itu, dimana ada perilaku data yang polanya berubah, maka di titik tersebutlah letak (lokasi) titik knot. Pola perubahan pola data dapat berbentuk beraneka ragam, disajikan pada Gambar 2.2:



Gambar 2.2 Ilustrasi pola perubahan data berdasarkan titik knot

Disamping lokasi titik knot yang menjadi perhatian dalam *spline truncated*, juga sangat penting

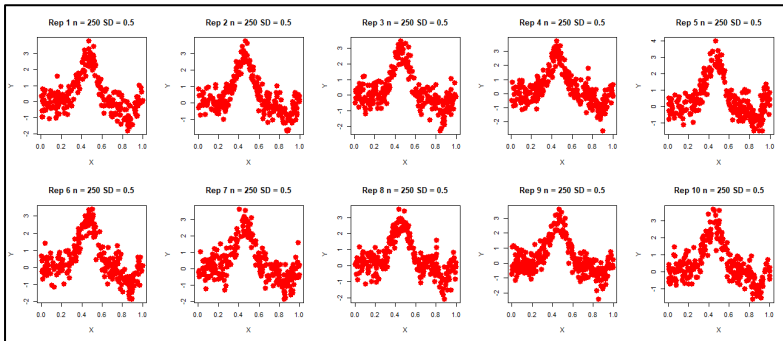
untuk memperhatikan berapa banyak titik knot yang harus digunakan. Banyak titik knot biasanya ditentukan dari berapa banyak terjadi perubahan pola perilaku data. Jika terjadi sekali perubahan pola data, maka sebaiknya menggunakan satu titik knot. Jika terjadi dua kali perubahan pola data, maka disarankan menggunakan dua titik knot. Demikian pula dengan seterusnya (Sifriyani, et al, 2023).

2.3. Evaluasi Kinerja Fungsi Kernel Gauss dan Kuartik dalam Integrasi Regresi Nonparametrik dan Statistika Spasial

Dalam upaya memahami performa regresi nonparametrik dalam analisis data, studi simulasi ini dilakukan dengan membangkitkan data berdasarkan distribusi tertentu. Data prediktor dihasilkan mengikuti distribusi uniform, sedangkan error mengikuti distribusi normal. Beberapa skenario diuji dengan variasi ukuran sampel (50, 100, 200, dan 250) serta varians (0,01; 0,05; 0,5; dan 1). Hasil visualisasi menunjukkan bahwa semakin besar varians, semakin luas penyebaran data, yang berakibat pada meningkatnya kompleksitas hubungan antara variabel prediktor dan respon. Hal ini menunjukkan pentingnya metode yang adaptif dalam menangani pola hubungan yang tidak diketahui secara eksplisit.

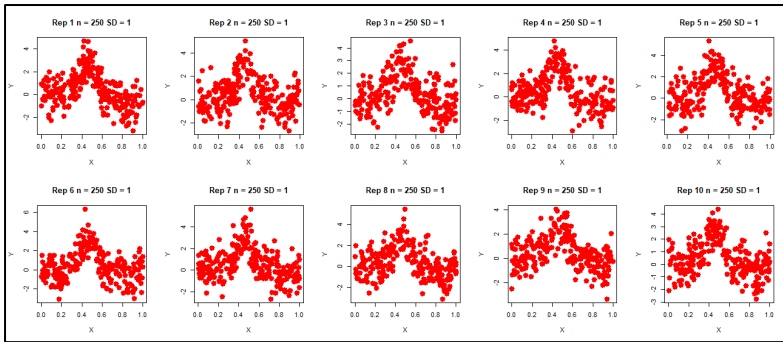
Untuk mengevaluasi efektivitas pendekatan regresi nonparametrik, dua fungsi Kernel, yaitu Gauss dan Kuartik, digunakan dalam simulasi ini. Analisis dilakukan dengan mengukur beberapa parameter penting, seperti nilai bandwidth optimal, Mean Square Error (MSE), Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP), Generalized Cross Validation (GCV), serta koefisien determinasi (R^2). Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan ukuran sampel secara umum berkontribusi pada peningkatan akurasi model, yang tercermin dari penurunan nilai MSE, RMSEP, dan GCV. Sebaliknya, semakin besar varians dalam data, nilai MSE dan RMSEP cenderung

meningkat, sementara nilai R^2 mengalami penurunan. Temuan ini menegaskan bahwa stabilitas model regresi nonparametrik sangat bergantung pada kondisi distribusi data yang digunakan.



Gambar 2.3 Diagram pencar untuk $n = 250$ dan $\sigma^2 = 0,5$

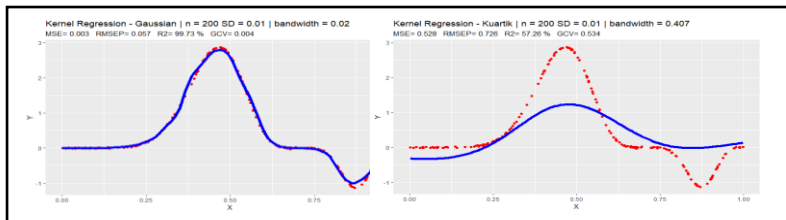
Dalam perbandingan antara fungsi Kernel Gauss dan Kuartik, hasil menunjukkan bahwa fungsi Kernel Gauss secara konsisten memberikan prediksi yang lebih akurat dibandingkan fungsi Kernel Kuartik. Hal ini terlihat dari nilai MSE, RMSEP, dan GCV yang lebih kecil, serta nilai koefisien determinasi yang lebih tinggi. Dengan kata lain, model berbasis Kernel Gauss lebih mampu menangkap pola hubungan antara variabel prediktor dan respon, sehingga memberikan estimasi yang lebih mendekati data aktual. Perbedaan performa ini semakin jelas saat varians data meningkat, di mana Kernel Gauss tetap mampu memberikan hasil yang lebih stabil dibandingkan Kernel Kuartik.



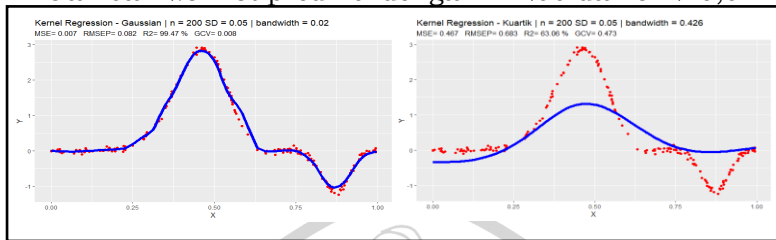
Gambar 2.4 Diagram pencar untuk $n = 250$ dan $\sigma^2 = 1$

Lebih lanjut, perbandingan visual dalam bentuk plot prediksi juga memperlihatkan bahwa model berbasis Kernel Gauss memiliki kesesuaian yang lebih baik terhadap pola data yang sebenarnya. Dengan kemampuan yang lebih unggul dalam menangani distribusi data yang bervariasi, fungsi Kernel Gauss dapat menjadi pilihan utama dalam analisis regresi nonparametrik, khususnya dalam kasus-kasus di mana hubungan antar variabel sulit diidentifikasi secara parametrik. Hasil ini juga memberikan wawasan bagi penelitian yang mengintegrasikan regresi nonparametrik dengan statistika spasial, di mana pola hubungan antar variabel sering kali bersifat kompleks dan tidak diketahui sebelumnya.

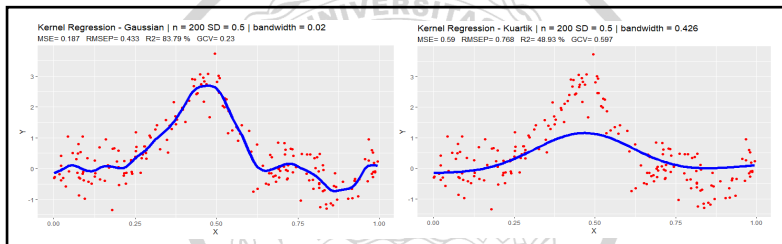
Sebagai kesimpulan, studi ini menegaskan bahwa dalam regresi nonparametrik, pemilihan fungsi Kernel sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil prediksi. Fungsi Kernel Gauss terbukti lebih unggul dibandingkan fungsi Kernel Kuartik dalam berbagai kondisi data yang diuji. Dengan demikian, dalam pengembangan model berbasis regresi nonparametrik, terutama dalam integrasi dengan pendekatan statistika spasial, metode dengan fungsi Kernel Gauss dapat menjadi pilihan yang lebih adaptif dan akurat untuk menangkap pola hubungan yang kompleks dalam data (Esmar, Sifriyani, et al 2025).



Gambar 2.5 Plot prediksi dengan $n=200$ dan $\sigma^2=0,01$



Gambar 2.6 Plot prediksi dengan $n=200$ dan $\sigma^2=0,05$



Gambar 2.7 Plot prediksi dengan $n=200$ dan $\sigma^2=0,5$
(Esmar, Sifriyani, et al 2025)

2.4. Keunggulan dan Tantangan Regresi Nonparametrik

Keunggulan regresi nonparametrik memiliki fleksibilitas Tinggi, regresi nonparametrik dapat menangkap hubungan nonlinier dan kompleks antara variabel independen dan dependen tanpa asumsi bentuk fungsi tertentu. Tidak bergantung pada asumsi parametrik: Regresi nonparametrik tidak memerlukan asumsi mengenai bentuk fungsi hubungan antara variabel, yang membuatnya lebih adaptif terhadap data yang bervariasi. Kemampuan Menangkap Pola Tersembunyi: Metode ini dapat menangkap pola

tersembunyi yang mungkin tidak terlihat dalam model parametrik.

Tantangan regresi nonparametrik ada pada pemilihan parameter, banyak metode regresi nonparametrik, seperti estimasi kernel atau smoothing spline, bergantung pada pemilihan parameter yang tepat, seperti bandwidth atau derajat polinomial. Pemilihan parameter yang salah dapat mengarah pada model yang underfitting atau overfitting. Komputasi yang Intensif, regresi nonparametrik sering kali memerlukan lebih banyak sumber daya komputasi dibandingkan regresi parametrik, terutama ketika ukuran dataset sangat besar. Interpretasi yang lebih sulit, hasil dari regresi nonparametrik lebih sulit diinterpretasikan dibandingkan dengan regresi parametrik yang memiliki bentuk fungsi yang jelas.

Regresi nonparametrik menawarkan pendekatan yang sangat fleksibel dan kuat untuk menganalisis data yang memiliki hubungan kompleks dan nonlinier. Meskipun terdapat tantangan dalam pemilihan parameter dan interpretasi hasil, metode ini memberikan keuntungan besar dalam menangkap pola tersembunyi dalam data yang tidak dapat ditangani dengan regresi parametrik. Dengan berbagai pendekatan yang adaseperti estimasi kernel, smoothing splines, dan local polynomial regression peneliti dapat memilih metode yang paling sesuai dengan karakteristik data yang sedang dianalisis.

C. STATISTIKA SPASIAL DALAM INOVASI MODEL DAN APLIKASI ANALISIS FENOMENA KOMPLEKS

3.2. Teori Dasar Statistika Spasial

Statistika spasial adalah cabang ilmu yang menangani data dengan referensi geografis atau lokasi dalam ruang. Berbeda dengan statistika parametrik, analisis spasial mempertimbangkan faktor lokasi dan kedekatan dalam distribusi data. Statistika spasial

digunakan dalam berbagai bidang seperti geografi, ekologi, epidemiologi, serta perencanaan kota. Contohnya, dalam epidemiologi, data spasial digunakan untuk memetakan penyebaran penyakit dan menentukan strategi mitigasi yang efektif.

Terdapat beberapa tipe data spasial yang umum digunakan, yaitu data titik, garis, area/poligon, dan grid/raster. Data titik merepresentasikan lokasi spesifik dalam ruang, seperti lokasi kasus penyakit. Data garis digunakan untuk objek linier seperti jalan dan sungai, sedangkan data area/poligon menggambarkan wilayah tertentu dengan batas yang jelas, seperti kawasan hutan atau batas administratif. Data grid atau raster direpresentasikan dalam bentuk matriks sel, seperti citra satelit atau model elevasi digital yang sering digunakan dalam pemetaan topografi.

Dalam struktur data spasial, terdapat dua jenis utama, yaitu data vektor dan data raster. Data vektor lebih akurat dalam merepresentasikan batas objek karena terdiri dari titik, garis, atau poligon. Sebaliknya, data raster lebih cocok untuk data yang berubah secara kontinu, seperti suhu dan curah hujan. Selain itu, data spasial relasional juga menjadi penting karena menggambarkan hubungan antarobjek dalam ruang, seperti keterhubungan dan pola distribusi yang mempengaruhi analisis spasial.

Pola distribusi data spasial dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, yaitu pola acak, pola berkelompok, dan pola teratur. Pola acak tidak menunjukkan distribusi tertentu, seperti persebaran titik hujan yang tidak memiliki keteraturan. Pola berkelompok terjadi ketika objek terkonsentrasi dalam suatu wilayah, misalnya konsentrasi kasus penyakit di daerah tertentu. Sedangkan pola teratur menunjukkan distribusi yang merata dengan jarak yang hampir sama antar titik, seperti pola penanaman tanaman dalam sistem irigasi modern.

Keseluruhan pemahaman tentang statistika spasial, tipe data, struktur data, dan pola distribusi sangat penting dalam berbagai analisis berbasis ruang. Efek autokorelasi spasial dan prinsip hukum Tobler menunjukkan bahwa objek yang berdekatan lebih mungkin memiliki karakteristik serupa dibandingkan objek yang berjauhan. Dengan memahami prinsip-prinsip ini, analisis spasial dapat memberikan wawasan yang lebih akurat dalam berbagai bidang, seperti perencanaan wilayah, lingkungan, dan kesehatan masyarakat.

3.3. Pengembangan Geographically Temporally Weighted Regression dengan Fungsi Jarak Improved Spatial-Timeseries dan Aplikasi Pemodelan Covid-19.

Peningkatan kasus COVID-19 di Indonesia, khususnya di Kalimantan, menuntut pendekatan statistik yang dapat menggambarkan dinamika spasial dan temporal penyebaran penyakit ini. Penelitian ini menerapkan model *Geographically and Temporally Weighted Regression* (GTWR) yang mengintegrasikan elemen spasial dan temporal untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi peningkatan kasus COVID-19 di 56 kabupaten/kota di Kalimantan selama periode Januari 2020 hingga Agustus 2021 (Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).

Metodologi Studi ini menggunakan data sekunder dari sumber resmi pemerintah dan lembaga statistik. Model GTWR dikembangkan dengan fungsi jarak spasial-temporal dan estimator kernel Gaussian dengan bandwidth tetap. Model ini dibandingkan dengan *Ordinary Least Squares* (OLS) untuk menilai efektivitas pendekatan yang digunakan. Faktor-faktor yang diteliti meliputi jumlah dokter, jumlah kasus tuberkulosis, persentase penduduk lansia, kepadatan penduduk, Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), serta jumlah rumah sakit.

Hasil Penelitian Model GTWR memiliki *goodness of fit* yang lebih baik dibandingkan model OLS, dengan R^2 sebesar 95,7% dan RMSE lebih rendah, menunjukkan bahwa model ini mampu menangkap variasi spasial dan temporal kasus COVID-19 dengan lebih akurat. Faktor yang paling berpengaruh terhadap peningkatan kasus COVID-19 di Kalimantan adalah tingginya jumlah kasus tuberkulosis, kepadatan penduduk, serta keterbatasan layanan kesehatan. Variabel yang signifikan dalam model berbeda antar wilayah dan waktu, menunjukkan bahwa kebijakan pengendalian COVID-19 harus bersifat lokal dan dinamis. Pemetaan berbasis model menunjukkan distribusi faktor risiko di setiap kabupaten/kota, memberikan rekomendasi berbasis data bagi pemerintah daerah dalam pengambilan keputusan strategis. Penelitian ini menegaskan pentingnya pendekatan regresi spasial-temporal dalam memahami pola epidemiologi COVID-19. Model GTWR dengan fungsi jarak yang dikembangkan mampu menggambarkan faktor-faktor dominan yang memengaruhi penyebaran COVID-19 secara lebih akurat dibandingkan pendekatan regresi konvensional. Temuan ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengambilan kebijakan berbasis data untuk penanganan pandemi di Indonesia (Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).

Tabel 3.1. Description of Research Variables and Data Sources.

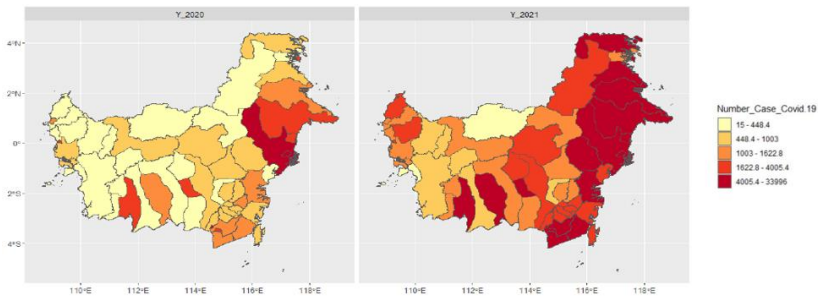
Variable	Symbol	Variable Description	Observation Data Source	Unit
Response	y	Cumulative positive cases of COVID-19	Official websites www.covid19.kaltimprov.go.id www.corona.kalselprov.go.id www.corona.kalteng.go.id www.coronainfo.kaltaraprov.go.id www.corona.kalbarprov.go.id (accessed on 10 August 2021)	People
Predictor	x_1	Number of doctors	Statistics Indonesia of East Kalimantan Province, North Kalimantan Province, South Kalimantan Province, Central	People

Variable	Symbol	Variable Description	Observation Data Source	Unit
			Kalimantan Province, West Kalimantan Province, 2020–2021	
	x_2	Number of TB cases	Public Health Office of East Kalimantan Province, North Kalimantan Province, South Kalimantan Province, Central Kalimantan Province, West Kalimantan Province, 2020–2021	Cases
	x_3	Percentage of elderly population	Statistics Indonesia of East Kalimantan Province, North Kalimantan Province, South Kalimantan Province, Central Kalimantan Province, West Kalimantan Province, 2020–2021	Percentage
	x_4	Population density	Statistics Indonesia of East Kalimantan Province, North Kalimantan Province, South Kalimantan Province, Central Kalimantan Province, West Kalimantan Province, 2020–2021	People/Km ²
	x_5	Gross Regional Domestic Product at Market Price	Statistics Indonesia of East Kalimantan Province, North Kalimantan Province, South Kalimantan Province, Central Kalimantan Province, West Kalimantan Province, 2020–2021	Billion Rupiah
	x_6	Number of hospitals	Public Health Office of East Kalimantan Province, North Kalimantan Province, South Kalimantan Province, Central Kalimantan Province, West Kalimantan Province, 2020–2021	Units
	x_7	Number of villages/ kelurahan with public health centers	Public Health Office of East Kalimantan Province, North Kalimantan Province, South Kalimantan Province, Central Kalimantan Province, West Kalimantan Province, 2020–2021	Units
	x_8	Percentage of poor population	Statistics Indonesia of East Kalimantan Province, North Kalimantan Province, South Kalimantan Province, Central Kalimantan Province, West Kalimantan Province, 2020–2021	%

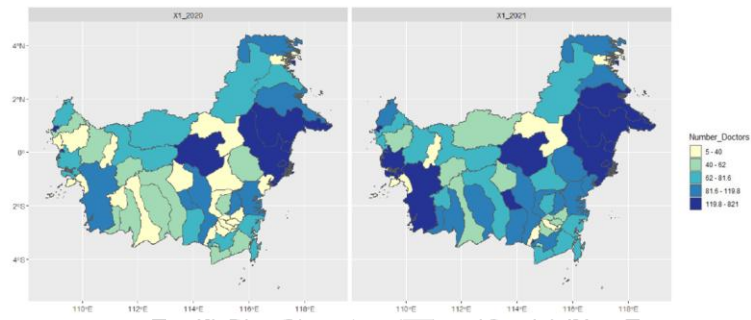
(Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).

Pemetaan Distribusi Spasial

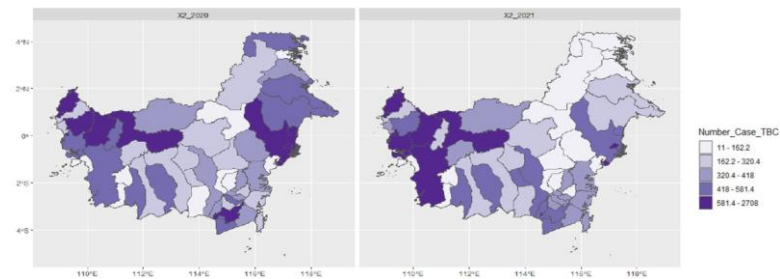
Data observasi dalam Tabel 3.1 dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial. Data observasi dikategorikan berdasarkan variabel dan disajikan dalam Gambar 3.1 dan 3.2.



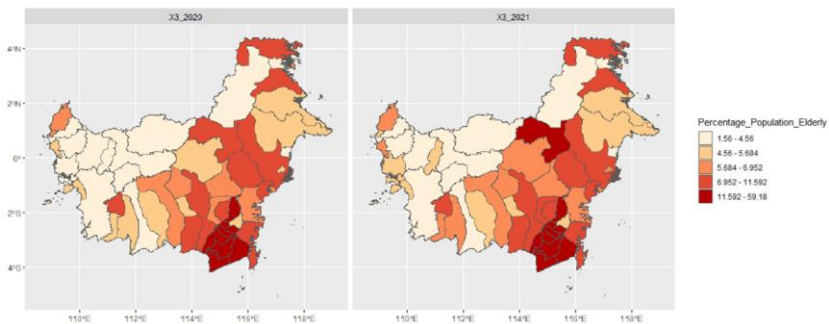
(a)



(b)

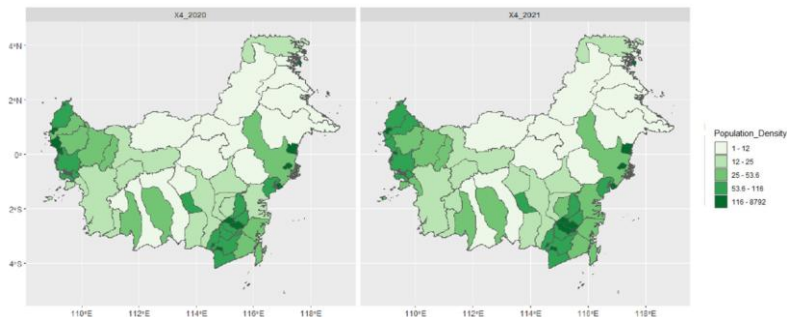


(c)

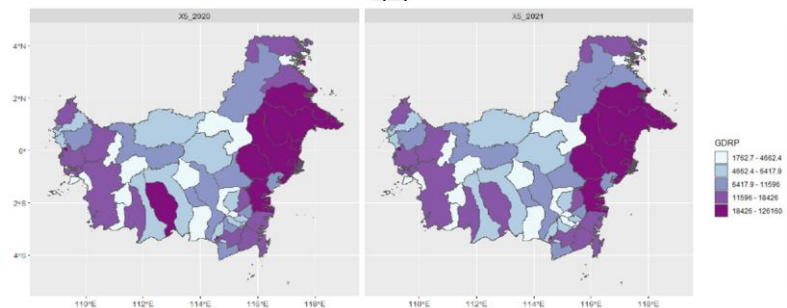


(d)

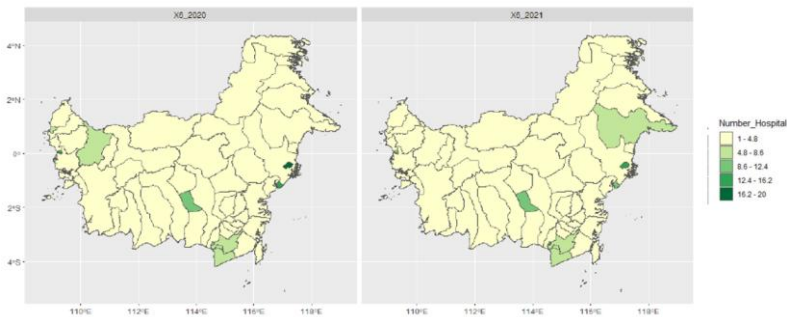
Gambar 3.1 Pemetaan Distribusi Spasial $x_1 - x_4$. (a) Peta jumlah kasus terkonfirmasi positif COVID-19 tahun 2020–2021; (b) Peta jumlah dokter tahun 2020–2021; (c) Peta jumlah kasus TB tahun 2020–2021; (d) Peta persentase populasi lansia tahun 2020–2021.



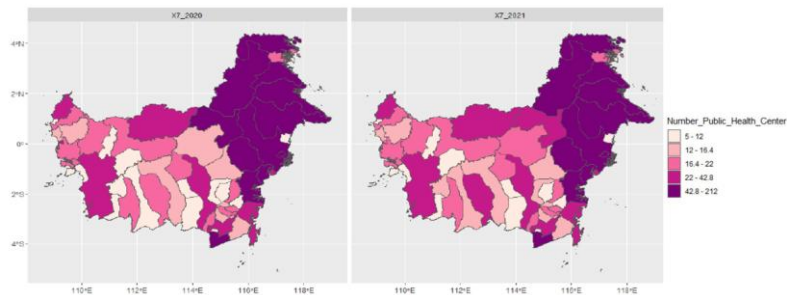
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.2 Pemetaan Distribusi Spasial $x_5 - x_8$. (a) Peta kepadatan penduduk tahun 2020–2021; (b) Peta Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) tahun 2020–2021; (c) Peta jumlah rumah sakit tahun 2020–2021; (d) Peta jumlah puskesmas tahun 2020–2021.

Deskripsi data kumulatif COVID-19 dan variabel prediktor untuk data observasi dalam Tabel 1 disajikan dalam Tabel 3.2.

Table 3.2. Summary of Variable Statistics.

Descriptive Statistics	Confirmed Positive Cases of COVID-19	Number of Doctors (x_1)	Number of TB Cases (x_2)	Percentage of Elderly Population (x_3)	Population Density (x_4)	GRDP (x_5)	Number of Hospitals (x_6)	Number of Public Health Centers (x_7)	Percentage of Poor Population (x_8)
Minimum	15	5	11	2	1	1763	1	5	2
Maximum	33,996	821	2708	59	8792	126,160	20	212	12
Range	33,981	816	2697	58	8791	124,397	19	207	10
Sum	332,489	12,084	49,283	1149	45,054	1,818,623	382	3861	675
Median	1183	73	355	6	31	8512	2	20	5
Mean	2969	108	440	10	402	16,238	3	34	6
SE.Mean	464	12	39	1	133	2122	0	4	0
Variance	24,119,005	16,810	166,245	118	1,969,598	504,525,521	11	1609	5
Std.dev	4911	130	408	11	1403	22,462	3	40	2

(Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).

3.4. Pemodelan Geographically Temporally Weighted Regression (GTWR) untuk 56 Kabupaten/Kota di Kalimantan

Analisis estimasi model GTWR pada lokasi ke- i , di mana lokasi $i = 1, 2, \dots, 56$ mewakili 56 daerah/kota di Kalimantan, dan $t = 1$ untuk tahun 2020 serta $t = 2$ untuk tahun 2021. Hasil estimasi model GTWR diberikan dalam Persamaan (3.1):

$$\hat{y}_{it} = \hat{\beta}_0(u_i, v_i, t_i) + \hat{\beta}_1(u_i, v_i, t_i)x_{it1} + \hat{\beta}_2(u_i, v_i, t_i)x_{it2} + \hat{\beta}_3(u_i, v_i, t_i)x_{it3} + \hat{\beta}_5(u_i, v_i, t_i)x_{it5} + \hat{\beta}_6(u_i, v_i, t_i)x_{it6} \quad , i = 1, 2, \dots, 56 ; t = 1, 2 \quad (3.1)$$

Tabel 3.2 menyajikan ringkasan hasil pemodelan GTWR menggunakan fungsi kernel Gaussian dengan bandwidth tetap pada fungsi pembobotan spasial dan temporal. Hasil menunjukkan, variabel jumlah dokter (x_1) memiliki koefisien berkisar antara -3,750 hingga 23,5555. Variabel jumlah kasus TB (x_2) memiliki koefisien berkisar antara -4869 hingga 2702. Variabel persentase populasi lansia memiliki koefisien berkisar antara -20,633 hingga 110,781. Variabel PDRB (x_5) memiliki koefisien berkisar antara 0,0303 hingga 0,2104. Variabel jumlah rumah sakit (x_6) memiliki koefisien berkisar antara -308,44 hingga 1024,983. Nilai koefisien untuk masing-masing variabel tersebut tersebar di seluruh daerah/kota di Kalimantan (Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).

Table 3.2. Summary of the estimated values of the GTWR model parameters.

Parameter Estimator	Minimum	Q_1	Median	Q_3	Maximum
$\hat{\beta}_0$	-1612.200	-886.460	-282.050	-64.537	1206.736
$\hat{\beta}_1$	-3.750	-0.609	0.033	5.815	23.556
$\hat{\beta}_2$	-4.870	-0.634	-0.197	0.560	2.702
$\hat{\beta}_3$	-20.633	-4.809	5.696	29.529	110.782
$\hat{\beta}_5$	0.030	0.033	0.086	0.170	0.210
$\hat{\beta}_6$	-308.440	170.570	220.270	849.960	1024.984

Hasil estimasi parameter menghasilkan estimator model GTWR yang menunjukkan korelasi antara variabel independen, yaitu jumlah dokter (x_1), jumlah kasus TB (x_2), persentase populasi lansia (x_3), PDRB (x_5), dan jumlah rumah sakit (x_6), terhadap persentase kasus positif COVID-19 di provinsi-provinsi di Kalimantan.

Uji Kebaikan Model (Goodness-of-Fit Measure)

Untuk membandingkan model Ordinary Least Squares (OLS) dan GTWR, digunakan beberapa ukuran kebaikan model, yaitu koefisien determinasi (R^2), koefisien determinasi disesuaikan (Adjusted R^2), Akaike Information Criterion (AIC), dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil perbandingan ukuran kebaikan model ditampilkan dalam Tabel 3.3.

Table 3.3. Comparison of models in terms of the number of positive COVID-19 cases.

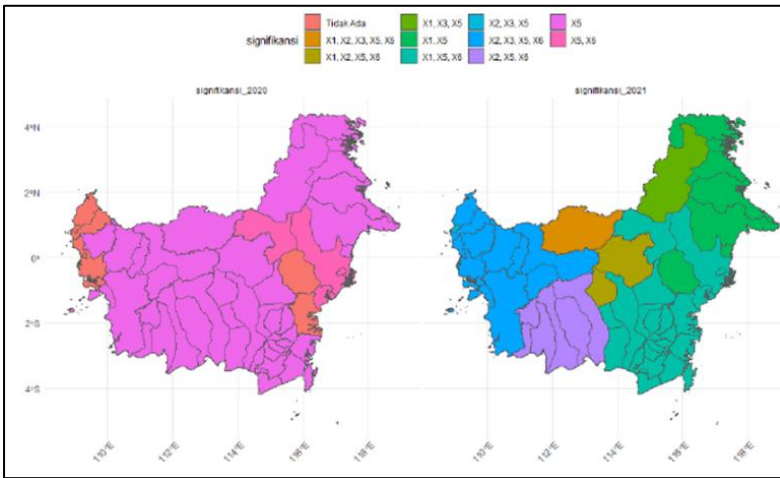
Criteria	OLS	GTWR
R^2	0.6134	0.95713
Adjusted R^2	0.5952	0.92855
AIC	2128.229	1900.76
RMSE	3039.91	1302.99

Hasil perbandingan dalam Tabel 3.3 menunjukkan bahwa model GTWR lebih baik dibandingkan model OLS. Hal ini ditunjukkan oleh Nilai R^2 dan Adjusted R^2 yang lebih tinggi pada model GTWR, menunjukkan bahwa model ini lebih mampu menjelaskan variasi data.

Nilai AIC dan RMSE yang lebih rendah pada model GTWR, menunjukkan bahwa model ini memiliki kompleksitas yang lebih efisien dan kesalahan prediksi yang lebih kecil dibandingkan model OLS (Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).

Pemetaan Berdasarkan Signifikansi Parameter Model GTWR

Gambar 3.3 menunjukkan hasil analisis model GTWR, yang mengindikasikan variabel-variabel yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19 di Kalimantan pada tahun 2020–2021 (Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).



Gambar 3.3. Significance of variables at 5% significance level.

Tahun 2020: Variabel PDRB (x_5) dan jumlah rumah sakit (x_6) memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19 di mayoritas daerah/kota di Kalimantan.

Tahun 2021: Di Provinsi Kalimantan Barat, variabel jumlah kasus TB (x_2), persentase populasi lansia (x_3), PDRB (x_5), dan jumlah rumah sakit (x_6) berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19.

Di Provinsi Kalimantan Utara, variabel jumlah dokter (x_1), persentase populasi lansia (x_3), dan PDRB (x_5) memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19. Di Provinsi Kalimantan Selatan, variabel yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19 adalah

jumlah dokter (x_1), PDRB (x_5), dan jumlah rumah sakit (x_6).

Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) memiliki beberapa keunggulan dibandingkan model regresi lainnya, terutama dalam analisis data yang dipengaruhi oleh faktor ruang dan waktu. Salah satu keunggulan utama GTWR adalah kemampuannya menangkap variasi spasial dan temporal secara simultan, sehingga lebih akurat dalam merepresentasikan fenomena yang dinamis. Dengan mempertimbangkan perubahan hubungan antara variabel seiring waktu, GTWR mampu mengatasi kelemahan model Geographically Weighted Regression (GWR) yang hanya berfokus pada dimensi spasial. Selain itu, penggunaan fungsi pembobotan spasial dan temporal dalam GTWR memungkinkan estimasi parameter yang lebih adaptif terhadap perubahan pola data, sehingga menghasilkan hasil yang lebih realistis. Model ini juga lebih fleksibel dibandingkan pendekatan regresi konvensional, karena dapat mengakomodasi heterogenitas spasial dan temporal tanpa memerlukan asumsi linearitas yang ketat. Oleh karena itu, GTWR sangat bermanfaat dalam berbagai bidang, seperti ekonomi, epidemiologi, dan perencanaan tata ruang, di mana pola hubungan antarvariabel dapat berubah baik secara geografis maupun temporal.

Tabel 3.2. Summary of the estimated values of the GTWR model parameters.

Parameter Estimator	Minimum	Q_1	Median	Q_3	Maximum
$\hat{\beta}_0$	-1612.200	-886.460	-282.050	-64.537	1206.736
$\hat{\beta}_1$	-3.750	-0.609	0.033	5.815	23.556
$\hat{\beta}_2$	-4.870	-0.634	-0.197	0.560	2.702
$\hat{\beta}_3$	-20.633	-4.809	5.696	29.529	110.782
$\hat{\beta}_5$	0.030	0.033	0.086	0.170	0.210
$\hat{\beta}_6$	-308.440	170.570	220.270	849.960	1024.984

Hasil estimasi parameter menghasilkan estimator model GTWR yang menunjukkan korelasi antara variabel independen, yaitu jumlah dokter (x_1), jumlah

kasus TB (x_2), persentase populasi lansia (x_3), PDRB (x_5), dan jumlah rumah sakit (x_6), terhadap persentase kasus positif COVID-19 di provinsi-provinsi di Kalimantan.

Uji Kebaikan Model (Goodness-of-Fit Measure)

Untuk membandingkan model Ordinary Least Squares (OLS) dan GTWR, digunakan beberapa ukuran kebaikan model, yaitu koefisien determinasi (R^2), koefisien determinasi disesuaikan (Adjusted R^2), Akaike Information Criterion (AIC), dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil perbandingan ukuran kebaikan model ditampilkan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Comparison of models in terms of the number of positive COVID-19 cases.

Criteria	OLS	GTWR
R^2	0.6134	0.95713
Adjusted R^2	0.5952	0.92855
AIC	2128.229	1900.76
RMSE	3039.91	1302.99

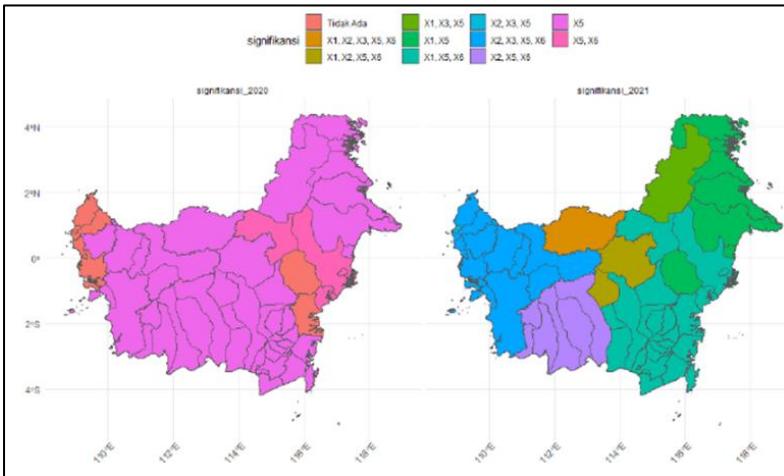
Hasil perbandingan dalam Tabel 3.3 menunjukkan bahwa model GTWR lebih baik dibandingkan model OLS. Hal ini ditunjukkan oleh Nilai R^2 dan Adjusted R^2 yang lebih tinggi pada model GTWR, menunjukkan bahwa model ini lebih mampu menjelaskan variasi data.

Nilai AIC dan RMSE yang lebih rendah pada model GTWR, menunjukkan bahwa model ini memiliki kompleksitas yang lebih efisien dan kesalahan prediksi yang lebih kecil dibandingkan model OLS (Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).

Pemetaan Berdasarkan Signifikansi Parameter Model GTWR

Gambar 3.3 menunjukkan hasil analisis model GTWR, yang mengindikasikan variabel-variabel yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif

COVID-19 di Kalimantan pada tahun 2020–2021 (Sifriyani, Rasjid, M., Rosadi D, et al., 2022).



Gambar 3.3. Significance of variables at 5% significance level.

Tahun 2020: Variabel PDRB (x_5) dan jumlah rumah sakit (x_6) memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19 di mayoritas daerah/kota di Kalimantan.

Tahun 2021: Di Provinsi Kalimantan Barat, variabel jumlah kasus TB (x_2), persentase populasi lansia (x_3), PDRB (x_5), dan jumlah rumah sakit (x_6) berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19.

Di Provinsi Kalimantan Utara, variabel jumlah dokter (x_1), persentase populasi lansia (x_3), dan PDRB (x_5) memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19. Di Provinsi Kalimantan Selatan, variabel yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus positif COVID-19 adalah jumlah dokter (x_1), PDRB (x_5), dan jumlah rumah sakit (x_6).

Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) memiliki beberapa keunggulan

dibandingkan model regresi lainnya, terutama dalam analisis data yang dipengaruhi oleh faktor ruang dan waktu. Salah satu keunggulan utama GTWR adalah kemampuannya menangkap variasi spasial dan temporal secara simultan, sehingga lebih akurat dalam merepresentasikan fenomena yang dinamis. Dengan mempertimbangkan perubahan hubungan antara variabel seiring waktu, GTWR mampu mengatasi kelemahan model Geographically Weighted Regression (GWR) yang hanya berfokus pada dimensi spasial. Selain itu, penggunaan fungsi pembobotan spasial dan temporal dalam GTWR memungkinkan estimasi parameter yang lebih adaptif terhadap perubahan pola data, sehingga menghasilkan hasil yang lebih realistis. Model ini juga lebih fleksibel dibandingkan pendekatan regresi konvensional, karena dapat mengakomodasi heterogenitas spasial dan temporal tanpa memerlukan asumsi linearitas yang ketat. Oleh karena itu, GTWR sangat bermanfaat dalam berbagai bidang, seperti ekonomi, epidemiologi, dan perencanaan tata ruang, di mana pola hubungan antarvariabel dapat berubah baik secara geografis maupun temporal.

D. INTEGRASI REGRESI NONPARAMETRIK DAN STATISTIKA SPASIAL DALAM PENGEMBANGAN MODEL

4.1. Konsep Integrasi Regresi Nonparametrik dan Statistik Spasial

Dalam analisis data, regresi merupakan salah satu metode utama yang digunakan untuk memahami hubungan antara variabel. Model regresi klasik umumnya menggunakan pendekatan parametrik, di mana bentuk fungsi hubungan antara variabel independen dan dependen ditentukan secara eksplisit. Namun, pendekatan ini sering kali memiliki keterbatasan dalam menangkap pola hubungan yang kompleks dan dinamis, terutama ketika data yang

digunakan memiliki karakteristik nonlinear dan heterogenitas tinggi.

Regresi nonparametrik muncul sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan model parametrik dengan memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam menentukan hubungan antara variabel. Salah satu pendekatan regresi nonparametrik yang populer adalah *spline regression*, yang memungkinkan pembentukan fungsi regresi berdasarkan segmen-segmen lokal dengan fungsi basis yang halus.

Namun, dalam banyak fenomena dunia nyata, hubungan antara variabel tidak hanya bersifat nonlinear tetapi juga sangat bergantung pada lokasi geografis. Contohnya, dalam analisis harga pangan, distribusi penyakit, atau perubahan iklim, pola hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi dapat berbeda secara signifikan antar wilayah. Dalam kasus seperti ini, analisis spasial menjadi penting untuk menangkap variasi geografis yang terjadi dalam data.

Statistika spasial berperan dalam mengakomodasi variasi spasial dalam analisis data. Dengan mempertimbangkan lokasi geografis sebagai bagian dari model, analisis data menjadi lebih representatif dan dapat menggambarkan fenomena yang sebenarnya terjadi di lapangan. Oleh karena itu, integrasi antara regresi nonparametrik dan statistika spasial menjadi pendekatan yang sangat potensial dalam menangani data yang kompleks dan bersifat geospasial.

4.2. Peran Regresi Spline Nonparametrik dalam Analisis Data Spasial

Regresi spline nonparametrik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menangani hubungan yang kompleks dan nonlinear antara variabel. Spline menggunakan fungsi basis yang memungkinkan pembentukan kurva regresi dengan

fleksibilitas tinggi. Keunggulan utama regresi spline nonparametrik dalam analisis data spasial adalah:

1. **Fleksibilitas dalam Menangkap Pola Nonlinear**
Berbeda dengan model parametrik yang mengharuskan asumsi bentuk fungsi tertentu, regresi spline dapat menyesuaikan bentuk kurva regresi dengan data tanpa batasan kaku terhadap hubungan antar variabel.
2. **Kemampuan Menangani Data dengan Distribusi Tidak Seragam**
Regresi spline dapat bekerja dengan baik dalam situasi di mana kepadatan data bervariasi antar wilayah. Hal ini karena spline memungkinkan penempatan simpul (*knots*) yang adaptif sesuai dengan karakteristik data.
3. **Interpretasi yang Lebih Mudah Dibandingkan Metode Nonparametrik Lainnya**
Spline memungkinkan analisis yang lebih intuitif dibandingkan metode nonparametrik lainnya, seperti metode kernel atau K-Nearest Neighbors (KNN), karena menggunakan fungsi basis yang dapat diinterpretasikan dengan lebih jelas. Namun, regresi spline konvensional masih bersifat global dan tidak mempertimbangkan variasi spasial secara eksplisit. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan model yang dapat mengintegrasikan fleksibilitas spline dengan informasi spasial untuk menangkap pola hubungan yang bervariasi antar lokasi.

4.3. Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression

Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR) merupakan pendekatan regresi yang menggabungkan konsep Geographically Weighted Regression (GWR) dengan Regresi Nonparametrik Spline. Model ini dikembangkan untuk menangani data yang memiliki karakteristik spasial dan nonlinear, sehingga memungkinkan estimasi parameter yang

bervariasi secara geografis dengan fleksibilitas tinggi. Dalam banyak kasus, hubungan antara variabel prediktor dan respons tidak selalu linear, sehingga metode nonparametrik seperti spline sangat berguna untuk menangkap pola yang kompleks.

Regresi nonparametrik spline digunakan dalam GWSNR untuk memodelkan hubungan yang tidak diketahui secara eksplisit antara variabel independen dan dependen. Metode ini membagi domain menjadi beberapa segmen menggunakan fungsi basis spline, sehingga menghasilkan model yang lebih fleksibel dan mampu menyesuaikan bentuk hubungan data secara lebih akurat. Selain itu, teknik *spline smoothing* atau *penalized spline* sering digunakan untuk menghindari overfitting, yang merupakan tantangan utama dalam model nonparametrik.

Sementara itu, GWR digunakan dalam model ini untuk memperhitungkan efek spasial dalam pemodelan regresi. Dengan metode ini, parameter regresi diestimasi secara lokal pada setiap titik lokasi menggunakan bobot spasial yang diberikan oleh fungsi kernel. Pendekatan ini memungkinkan model menangkap variasi hubungan antara variabel di setiap lokasi secara lebih baik dibandingkan dengan model regresi global yang mengasumsikan hubungan tetap di seluruh wilayah.

Integrasi antara GWR dan regresi spline dalam GWSNR memberikan berbagai keunggulan. Model ini mampu menyesuaikan pola hubungan yang kompleks dengan fleksibilitas tinggi dalam menangani hubungan nonlinear, serta memperhitungkan efek spasial yang memungkinkan model menangkap variasi geografis secara lebih akurat. Selain itu, estimasi parameter dilakukan secara terlokalisasi, sehingga dapat mengatasi masalah multikolinearitas yang sering terjadi dalam model global.

Keunggulan utama dari Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR) adalah kemampuannya dalam menyesuaikan pola hubungan

yang kompleks dengan fleksibilitas tinggi dalam menangani hubungan nonlinear. Dengan menggunakan pendekatan spline, model ini dapat menangkap variasi hubungan antarvariabel tanpa harus mengasumsikan bentuk fungsi tertentu, sehingga lebih adaptif terhadap data yang bersifat dinamis. Selain itu, GWSNR memperhitungkan efek spasial dalam analisisnya, memungkinkan model untuk menangkap variasi geografis dengan lebih akurat dibandingkan regresi konvensional yang mengasumsikan hubungan tetap di seluruh wilayah. Pendekatan ini juga membantu dalam mengatasi multikolinearitas lokal karena estimasi parameter dilakukan secara terlokalisasi, sehingga dapat mengurangi efek variabel yang berkorelasi tinggi pada skala global. Dengan demikian, GWSNR menjadi metode yang lebih unggul dalam menganalisis data spasial dan kompleks dibandingkan dengan pendekatan regresi parametrik.

Aplikasi GWSNR sangat luas, terutama dalam bidang yang melibatkan analisis spasial dan pola hubungan nonlinear. Beberapa contohnya adalah prediksi harga pangan berdasarkan faktor geografis dan cuaca, analisis ketahanan pangan dengan mempertimbangkan distribusi spasial produktivitas pertanian, serta kajian ekonomi dan sosial berbasis wilayah. Selain itu, model ini juga dapat digunakan dalam studi epidemiologi untuk memahami penyebaran penyakit yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Dengan fleksibilitas dan keunggulan yang dimilikinya, GWSNR menjadi alat yang sangat bermanfaat dalam analisis data spasial yang kompleks.

4.4. Pemilihan Titik Knot Optimal dan Pembobot Geografis Terbaik pada Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression

Dalam bab ini akan dikonstruksi Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression atau disingkat GWSNR, kemudian estimasi parameter

$\tilde{\beta}(u_i, v_i)$, $\tilde{\delta}(u_i, v_i)$ dan variansi $\sigma^2(u_i, v_i)$ serta estimasi fungsi kurva regresi dari Model GWSNR. Setelah itu dilanjutkan membuktikan sifat-sifat estimator dari Model GWSNR. Model ini merupakan pengembangan dari regresi nonparametrik untuk data spasial dengan estimator parameter bersifat lokal untuk setiap lokasi pengamatan. Pendekatan spline *truncated* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan analisis spasial yang bentuk kurva regresinya tidak diketahui. Pada model regresi asumsi yang digunakan adalah error berdistribusi normal dengan mean nol dan variansi $\sigma^2(u_i, v_i)$ pada setiap lokasi (u_i, v_i) . Koordinat lokasi (u_i, v_i) merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan pembobot yang digunakan untuk menaksir parameter dari model. Diberikan data $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{li}, y_i)$ dan hubungan antara $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{li})$ dan y_i diasumsikan mengikuti model regresi nonparametrik multivariabel sebagai berikut:

$$y_i = f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{li}) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4.1)$$

dimana y_i sebagai variabel respon dan $f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{li})$ adalah kurva regresi yang tidak diketahui bentuknya dan diasumsikan bersifat aditif. Jika $f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{li})$ didekati dengan fungsi spline *truncated*, $f_p(x_{pi}) = f_p$ adalah fungsi dari kurva regresi yang tidak diketahui bentuknya untuk variabel prediktor ke- p , dimana $p = 1, 2, \dots, l$. f_p didekati dengan fungsi spline *truncated* derajat m dan titik-titik knot $K_{p1}, K_{p2}, \dots, K_{pr}$ untuk setiap lokasi (u_i, v_i) , maka diperoleh:

$$\begin{aligned} f_p &= \beta_0^*(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_i, v_i) x_{pi}^k \\ &\quad + \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_i, v_i) (x_{pi} - K_{ph})_+^m, p \\ &= 1, 2, 3, \dots, l, \end{aligned}$$

dimana fungsi *truncated* :

$$(x_{pi} - K_{ph})_+^m = \begin{cases} (x_{pi} - K_{ph}), & x_{pi} \geq K_{ph} \\ 0, & x_{pi} < K_{ph} \end{cases}$$

Berdasarkan persamaan ini maka fungsi dari kurva regresi nonparametrik multivariabel spline *truncated* dalam model GWR dapat ditulis menjadi:

$$f = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_i, v_i) x_{pi}^k + \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_i, v_i) (x_{pi} - K_{ph})_+^m \quad (4.2)$$

Secara matematis bentuk hubungan antara variabel respon y_i dan variabel prediktor $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{li})$ pada lokasi ke- i untuk Model GWSNR, dapat dinyatakan sebagai berikut (Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2018):

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_i, v_i) x_{pi}^k + \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_i, v_i) (x_{pi} - K_{ph})_+^m + \varepsilon_i \quad (4.3)$$

Persamaan (4.3) merupakan Model GWSNR derajat m dengan n area. Komponen-komponen dalam persamaan (4.3) dijelaskan sebagai berikut:

y_i adalah variabel respon pada lokasi ke- i dimana $i = 1, 2, \dots, n$. x_{pi} adalah variabel prediktor ke- p pada area ke- i dengan $p = 1, 2, \dots, l$. K_{ph} adalah titik knot ke- h pada komponen variabel prediktor ke- p dengan $h = 1, 2, \dots, r$. $\beta_{pk}(u_i, v_i)$ adalah parameter komponen polinomial dari

Model GWSNR. $\beta_{pk}(u_i, v_i)$ adalah parameter ke- k dari variabel prediktor ke- p pada area ke- i . $\delta_{p,m+h}(u_i, v_i)$ adalah parameter komponen *truncated* dari Model GWSNR. $\delta_{p,m+h}(u_i, v_i)$ adalah parameter ke $l + h$, pada titik knot ke- h dan variabel prediktor ke- p pada area ke- i . Persamaan (4.3) area ke n dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_n = \beta_0(u_n, v_n) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_n, v_n) x_{pn}^k + \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_n, v_n) (x_{pn} - K_{ph})_+^m + \varepsilon_n.$$

Persamaan (4.3) dapat juga dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_0(u_1, v_1) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_1, v_1) x_{pn}^k \\ \beta_0(u_2, v_2) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_2, v_2) x_{pn}^k \\ \vdots \\ \beta_0(u_n, v_n) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_n, v_n) x_{pn}^k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_1, v_1) (x_{pn} - K_{ph})_+^m \\ \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_2, v_2) (x_{pn} - K_{ph})_+^m \\ \vdots \\ \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_n, v_n) (x_{pn} - K_{ph})_+^m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Dengan demikian persamaan (4.4) dapat dinyatakan dengan:

$$\tilde{\mathbf{Y}} = \tilde{\mathbf{f}} + \tilde{\boldsymbol{\varepsilon}} = \mathbf{X} \tilde{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i) + \mathbf{P} \tilde{\boldsymbol{\delta}}(u_i, v_i) + \tilde{\boldsymbol{\varepsilon}}, \quad (4.5)$$

dimana vektor $\tilde{\mathbf{f}}$ memuat fungsi spline *truncated* dengan pembobot geografis berukuran $n \times 1$, vektor $\tilde{\mathbf{Y}}$ dan $\tilde{\boldsymbol{\varepsilon}}$ masing-masing berukuran $n \times 1$. Matriks $\mathbf{X}$ berukuran $n \times (1 + lm)$, matriks $\mathbf{P}$ adalah matriks yang

memuat variabel prediktor fungsi *truncated* berukuran $n \times lr$. Vektor $\tilde{\beta}(u_i, v_i)$ adalah vektor parameter dengan ukuran $(1 + lm) \times 1$. Vektor $\tilde{\delta}(u_i, v_i)$ adalah vektor parameter yang memuat fungsi *truncated* dengan ukuran $lr \times 1$ (Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2018).

4.4.1. Estimasi Parameter Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression

Metode estimasi yang digunakan dalam penaksir parameter adalah *Maximum Weighted Likelihood Estimator*. Untuk mendapatkan estimator dibutuhkan lemma berikut.

Lemma 4.1 Jika diberikan model pada persamaan (4.3) dengan *error* ε_i berdistribusi normal dengan mean nol dan variansi $\sigma^2(u_i, v_i)$ maka y_i berdistribusi normal dengan mean

$$\beta_0(u_i, v_i) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_i, v_i) x_{pi}^k + \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_i, v_i) (x_{pi} - K_{ph})_+^m$$

dan variansi $\sigma^2(u_i, v_i)$ (Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Teorema 4.2. Jika diberikan model regresi (4.3) dengan *error* ε_i berdistribusi normal dengan mean nol dan variansi $\sigma^2(u_i, v_i)$ dan fungsi likelihood terbobot maka estimator MLE untuk $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ dan $\hat{\delta}(u_i, v_i)$ diberikan oleh:

$$\begin{aligned} \hat{\beta}(u_i, v_i) &= \mathbf{A}(\mathbf{K})\tilde{\mathbf{Y}} \\ \hat{\delta}(u_i, v_i) &= \mathbf{B}(\mathbf{K})\tilde{\mathbf{Y}} \end{aligned}$$

dimana

$$\begin{aligned} \mathbf{A}(\mathbf{K}) &= \mathbf{S} \left(\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \right)^{-1} \left[\mathbf{X}^T \right. \\ &\quad \left. - \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{P} (\mathbf{P}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{P})^{-1} \mathbf{P}^T \right] \mathbf{W}(u_i, v_i) \\ \mathbf{B}(\mathbf{K}) &= \mathbf{R} \left(\mathbf{P}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{P} \right)^{-1} \left[\mathbf{P}^T \right. \\ &\quad \left. - \mathbf{P}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \right] \mathbf{W}(u_i, v_i) \end{aligned}$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Akibat 4.3 Jika $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ dan $\hat{\delta}(u_i, v_i)$ diberikan oleh Teorema 4.2 maka estimator untuk kurva regresi $\hat{f}$ diberikan oleh:

$$\hat{f} = \mathbf{X} \hat{\beta}(u_i, v_i) + \mathbf{P} \hat{\delta}(u_i, v_i) = \mathbf{C}(\mathbf{K}) \tilde{\mathbf{Y}},$$

dimana

$$\mathbf{C}(\mathbf{K}) = \mathbf{X} \mathbf{A}(\mathbf{K}) + \mathbf{P} \mathbf{B}(\mathbf{K})$$

(Sifriyani, et al. 2018a).

Bukti:

Berdasarkan Teorema 4.2 didapat:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = \mathbf{A}(\mathbf{K}) \tilde{\mathbf{Y}}$$

Teorema 4.2 juga memberikan:

$$\hat{\delta}(u_i, v_i) = \mathbf{B}(\mathbf{K}) \tilde{\mathbf{Y}}$$

Akibatnya diperoleh estimator $\hat{f}$:

$$\begin{aligned} \hat{f} &= \mathbf{X} \hat{\beta}(u_i, v_i) + \mathbf{P} \hat{\delta}(u_i, v_i) \\ &= \mathbf{X} \mathbf{A}(\mathbf{K}) \tilde{\mathbf{Y}} + \mathbf{P} \mathbf{B}(\mathbf{K}) \tilde{\mathbf{Y}} \\ &= [\mathbf{X} \mathbf{A}(\mathbf{K}) + \mathbf{P} \mathbf{B}(\mathbf{K})] \tilde{\mathbf{Y}} \\ &= \mathbf{C}(\mathbf{K}) \tilde{\mathbf{Y}} \end{aligned}$$

Matriks $\mathbf{C}(\mathbf{K}) = \mathbf{X} \mathbf{A}(\mathbf{K}) + \mathbf{P} \mathbf{B}(\mathbf{K})$ merupakan matriks hat yang memuat titik knot $\mathbf{K}$ untuk Model GWSNR■

Estimator kurva regresi $\hat{f}$ memuat komponen polinomial yang direpresentasikan oleh matriks $\mathbf{X}$ dan komponen *truncated* yang direpresentasikan oleh matriks $\mathbf{P}$. Apabila matriks $\mathbf{P} = \mathbf{0}$ maka estimator kurva regresi GWSNR $\hat{f}$ akan menuju estimator kurva regresi parametrik polinomial dalam model GWR. Selanjutnya jika $\mathbf{P} = \mathbf{0}$ dan matriks $\mathbf{X}$ memuat fungsi linear maka

estimator kurva regresi GWSNR $\hat{f}$ akan menjadi estimator kurva regresi parametrik linier dalam model GWR yang dikembangkan oleh banyak peneliti misalnya Brusdon dan Fotheringham (1999), Fotheringham, et al. (2003), Demsar, et al. (2008), Yan Li, et al. (2016), Shan-shan Wu, et al. (2017) dan Benassi, dan Naccarato (2017).

4.4.2. Membangun Inferensi dan Validasi Model GWSNR

Dalam sub bab ini akan dibahas mengenai bagaimana membangun inferensi khususnya pengujian hipotesis tentang kesesuaian model dan uji simultan model GWSNR. Dalam membangun inferensi menggunakan metode *Maximum Likelihood Ratio Test* (MLRT). Diberikan model GWSNR seperti pada persamaan (4.3).

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_i, v_i) x_{pi}^k + \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_i, v_i) (x_{pi} - K_{ph})_+^m + \varepsilon_i,$$

dimana $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2(u_i, v_i))$, $i = 1, 2, \dots, n$. Model regresi pada persamaan diatas dapat disajikan dalam bentuk lain:

$$\begin{aligned} \tilde{Y} &= [X \quad P] \begin{bmatrix} \tilde{\beta}(u_i, v_i) \\ \tilde{\delta}(u_i, v_i) \end{bmatrix} + \tilde{\varepsilon} \\ &= Q_{n \times [1+(l \times m)+(l \times r)]} \tilde{\eta}(u_i, v_i)_{[1+(l \times m)+(l \times r)] \times 1} + \tilde{\varepsilon}_{n \times 1} \end{aligned}$$

matriks Q memuat komponen polinomial dan komponen spline *truncated*.

$$\tilde{\eta}(u_i, v_i) = \begin{bmatrix} \tilde{\beta}(u_i, v_i) \\ \tilde{\delta}(u_i, v_i) \end{bmatrix},$$

Akan dirancang suatu uji hipotesis kesesuaian model GWSNR dengan menggunakan rumusan hipotesis:

$$H_0: \beta_{pk}(u_i, v_i) = \beta_{pk} \text{ dan } \delta_{p,m+h}(u_i, v_i) = \delta_{p,m+h}, \\ p = 1, 2, \dots, l; k = 1, 2, \dots, m; h = 1, 2, \dots, r; i = 1, 2, \dots, n$$

(tidak ada perbedaan yang signifikan GWSNR dengan regresi nonparametrik spline *truncated*)

$$H_1: \text{Paling tidak ada satu } \beta_{pk}(u_i, v_i) \neq \beta_{pk} \text{ atau} \\ \delta_{p,m+h}(u_i, v_i) \neq \delta_{p,m+h}, \\ p = 1, 2, \dots, l; k = 1, 2, \dots, m; h = 1, 2, \dots, r; i = 1, 2, \dots, n$$

(Ada perbedaan yang signifikan antara GWSNR dengan regresi nonparametrik spline *truncated*).

Untuk menurunkan uji hipotesis ini menggunakan metode MLRT didefinisikan ruang-ruang parameter dibawah H_0 (ω) dan dibawah populasi (Ω). Statistik test untuk uji hipotesis kesesuaian model dapat diperoleh dengan menggunakan Lemma 4.4. Lemma 4.5. dan Lemma 4.6. Langkah selanjutnya akan ditunjukkan rasio likelihood untuk statistik test yang akan disajikan dalam Lemma 4.7.

Lemma 4.4 Jika $\tilde{\eta}_\Omega(u_i, v_i)$ merupakan parameter pada ruang dibawah populasi (Ω) dari Model GWSNR (5.1.1), maka estimator $\hat{\tilde{\eta}}_\Omega(u_i, v_i)$ diberikan oleh:

$$\hat{\tilde{\eta}}_\Omega(u_i, v_i) = (Q^T W(u_i, v_i) Q)^{-1} Q^T W(u_i, v_i) \tilde{Y}$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Lemma 4.5 Jika $\sigma_\Omega^2(u_i, v_i)$ merupakan parameter pada ruang dibawah populasi (Ω) dari Model GWSNR (5.1.1), maka estimator $\hat{\sigma}_\Omega^2(u_i, v_i)$ yang diperoleh dari fungsi likelihood:

$$L(\Omega) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} (\sigma_{\Omega}^2(u_i, v_i))^{-\frac{n}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_{\Omega}^2(u_i, v_i)} \sum_{j=1}^n \left[y_j - \left(\beta_0(u_i, v_i) + \sum_{p=1}^l \sum_{k=1}^m \beta_{pk}(u_i, v_i) x_{pi}^k + \sum_{p=1}^l \sum_{h=1}^r \delta_{p,m+h}(u_i, v_i) (x_{pi} - K_{ph})_+^m \right) \right]^2 \right)$$

diberikan oleh:

$$\hat{\sigma}_{\Omega}^2(u_i, v_i) = \frac{(\tilde{Y} - Q\hat{\eta}_{\Omega}(u_i, v_i))^T (\tilde{Y} - Q\hat{\eta}_{\Omega}(u_i, v_i))}{n}$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Lemma 4.6 Jika $\tilde{\eta}_{\omega}$ dan σ_{ω}^2 merupakan parameter dibawah H_0 dari Model GWSNR maka estimator untuk $\hat{\eta}_{\omega}$ diberikan oleh:

$$\hat{\eta}_{\omega} = (Q^T Q)^{-1} Q^T \tilde{Y}$$

dan estimator untuk σ_{ω}^2 diberikan oleh:

$$\hat{\sigma}_{\omega}^2 = \frac{(\tilde{Y} - Q\tilde{\eta}_{\omega})^T (\tilde{Y} - Q\tilde{\eta}_{\omega})}{n}$$

(Sifriyani, et al. 2018b)

Lemma 4.7 Jika $L(\hat{\Omega})$ dan $L(\hat{\omega})$ masing-masing diberikan oleh Lemma (4.6) dan (4.7) maka rasio likelihood Λ diberikan oleh:

$$\Lambda = \frac{\tilde{Y}^T S \tilde{Y}}{\tilde{Y}^T D(u_i, v_i) \tilde{Y}}$$

dimana

$$S = (I - Q(Q^T Q)^{-1} Q^T) \\ D(u_i, v_i) = (I - W(u_i, v_i) Q(Q^T W(u_i, v_i) Q)^{-1} Q^T) \\ (I - Q(Q^T W(u_i, v_i) Q)^{-1} Q^T W(u_i, v_i))$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Berikut ini diberikan Statistik Test untuk menguji

hipotesis kesesuaian model, yang secara lengkap disajikan oleh Teorema 4.8

Teorema 4.8 Jika rasio likelihood Λ diberikan oleh Lemma 4.7 maka statistik test untuk menguji hipotesis H_0 lawan H_1 diberikan oleh:

$$V = \frac{\frac{\tilde{Y}^T S \tilde{Y}}{n - lm - 1}}{\frac{\tilde{Y}^T D(u_i, v_i) \tilde{Y}}{\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi))}}$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Selanjutnya akan dicari distribusi dari statistik test V . Untuk membuktikan distribusi dari statistik test V , terlebih dahulu kita akan membuktikan $\tau = \frac{\tilde{Y}^T S \tilde{Y}}{\sigma^2} \sim \chi^2_{(n-lm-1)}$ dan $\frac{\tilde{Y}^T D(u_i, v_i) \tilde{Y}}{\sigma^2 \left(\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2}{\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi))} \right)} \sim \chi^2 \left(\frac{(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)))^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)$.

Pembuktian tersebut akan disajikan pada Teorema 4.9 dan Teorema 4.10 sebagai berikut:

Teorema 4.9 Jika S adalah matriks yang diberikan oleh Teorema 4.8 maka statistik:

$$\tau = \frac{\tilde{Y}^T S \tilde{Y}}{\sigma^2} \sim \chi^2_{(n-lm-1)}.$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Teorema 4.10 Jika $D(u_i, v_i)$ adalah matriks yang diberikan oleh Lemma 5.1.4 maka statistik:

$$\tau^* = \frac{\tilde{Y}^T D(u_i, v_i) \tilde{Y}}{\sigma^2 \left(\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2}{\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi))} \right)} \sim \chi^2 \left(\frac{(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)))^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Akibat 4.11 Jika statistik V diberikan oleh Teorema 5.1.5. maka

$$V = \frac{\frac{\tilde{Y}^T S \tilde{Y}}{n - lm - 1}}{\frac{\tilde{Y}^T D(u_i, v_i) \tilde{Y}}{\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi))}} \sim F \left((n - lm - 1), \frac{(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)))^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Berikut ini akan diturunkan daerah penolakan untuk hipotesis kesesuaian model. daerah kritis untuk uji ini diberikan oleh Lemma 4.12

Lemma 4.12 Jika diberikan statistik uji V seperti pada Akibat 4.11 maka daerah penolakan untuk hipotesis H_0 diberikan oleh:

$$C(y, x_1, x_2, \dots, x_l) = \{(y, x_1, x_2, \dots, x_l); V > c\}$$

Untuk suatu konstanta c yang diperoleh berdasarkan persamaan:

$$P(V > c) = \alpha, \quad 0 < \alpha < 1,$$

dimana α adalah tingkat signifikansi yang ditentukan dan

$$V \sim F \left(n - lm - 1, \left(\frac{(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)))^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right) \right).$$

(Sifriyani, Kartiko S.H., Budiantara I N., et al 2019).

Bukti.

Berdasarkan Teorema 5.1.5. didapat hubungan:

$$\frac{\frac{\tilde{Y}^T S \tilde{Y}}{n - lm - 1}}{\frac{\tilde{Y}^T D(u_i, v_i) \tilde{Y}}{\left(\frac{\left(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)}} > c^{-\frac{2}{n}} \frac{n - lm - 1}{\left(\frac{\left(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)}$$

$$= c^*$$

Untuk suatu konstatnta c^* . Berdasarkan Akibat 5.1.8. statistik:

$$V = \frac{\frac{\tilde{Y}^T S \tilde{Y}}{n - lm - 1}}{\frac{\tilde{Y}^T D(u_i, v_i) \tilde{Y}}{\left(\frac{\left(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)}} \sim F \left(\frac{(n - lm - 1) \left(\frac{\left(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)}{\left(\frac{\left(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)} \right)$$

Untuk tingkat signifikansi α yang diberikan hipotesis H_0 ditolak jika

$$V > F_{\alpha} \left(\frac{(n - lm - 1) \left(\frac{\left(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)}{\left(\frac{\left(\text{tr}((I - \xi)^T (I - \xi)) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2} \right)} \right) \blacksquare$$

Setelah mendapatkan formulasi uji hipotesis kesesuaian model antara Model GWSNR versus regresi nonparametrik multivariabel spline *truncated* (global).

4.5. Keutamaan Model GWSNR dengan model spasial lainnya

Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR) merupakan pendekatan regresi nonparametrik yang menggabungkan metode geographically weighted regression (GWR) dengan teknik spline smoothing. Model ini dikembangkan untuk menangani hubungan spasial yang bersifat lokal dan nonlinear tanpa harus menetapkan bentuk fungsi

regresi secara eksplisit. Dibandingkan dengan model spasial parametris seperti GWR, Spatial Autoregressive Model (SAR), atau Kriging, GWSNR menawarkan fleksibilitas lebih besar dalam menangkap pola spasial yang kompleks.

Salah satu keunggulan utama GWSNR adalah kemampuannya menangani hubungan nonlinear antar variabel. Model spasial parametris, seperti GWR, mengasumsikan hubungan antara variabel dependen dan independen dalam bentuk tertentu (misalnya linier atau kuadratik), yang bisa jadi tidak sesuai dengan kenyataan. Dengan pendekatan spline, GWSNR dapat menyesuaikan bentuk hubungan secara otomatis, sehingga memberikan estimasi yang lebih akurat, terutama ketika pola hubungan dalam data berubah di berbagai lokasi geografis.

Selain itu, GWSNR lebih unggul dalam menangkap heterogenitas spasial dibandingkan model global seperti SAR atau SEM (Spatial Error Model). Model parametris biasanya mengasumsikan bahwa hubungan antar variabel berlaku secara global, sedangkan GWSNR memungkinkan parameter berubah di setiap titik lokasi. Hal ini penting dalam analisis spasial karena hubungan antar variabel sering kali bersifat lokal dan dipengaruhi oleh karakteristik wilayah tertentu. Dengan kata lain, GWSNR memungkinkan pemodelan yang lebih realistis terhadap fenomena spasial.

Keunggulan lain dari GWSNR adalah kemampuannya dalam mengatasi multikolinearitas, yang sering menjadi masalah dalam model spasial parametris. Dalam regresi spasial berbasis parametris, variabel independen yang saling berkorelasi dapat menyebabkan bias dalam estimasi parameter. Dengan penggunaan spline, GWSNR dapat melakukan regularisasi terhadap hubungan antar variabel, sehingga estimasi menjadi lebih stabil dan dapat diandalkan. Hal ini menjadikan GWSNR pilihan yang

lebih baik untuk data spasial yang kompleks dengan variabel yang saling berkaitan.

Dalam konteks estimasi dan prediksi, GWSNR lebih fleksibel dibandingkan dengan model interpolasi spasial seperti Kriging. Meskipun Kriging sangat baik dalam interpolasi nilai pada titik yang tidak teramati, model ini tidak secara langsung menangkap hubungan antara variabel independen dan dependen. Sebaliknya, GWSNR memungkinkan analisis hubungan variabel dengan mempertimbangkan aspek spasial dan nonlinearitas secara simultan. Hal ini menjadikannya lebih efektif dalam analisis prediktif, terutama dalam aplikasi seperti pemetaan risiko lingkungan, prediksi harga pangan, dan analisis perubahan lahan.

Terakhir, GWSNR dapat diperluas ke dalam model spatio-temporal untuk menangkap perubahan fenomena dalam dimensi waktu. Dengan menambahkan komponen temporal ke dalam model, GWSNR dapat digunakan untuk menganalisis pola dinamika spasial dalam jangka waktu tertentu, menjadikannya lebih unggul dibandingkan model spasial statis. Dengan semua keunggulan tersebut, GWSNR menjadi alat yang sangat berguna dalam analisis data spasial yang kompleks dan dinamis, memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat diinterpretasikan dengan baik.

E. PENERAPAN REGRESI NONPARAMETRIK SPASIAL DALAM KETAHANAN PANGAN DAN ANALISIS BIG DATA.

Model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR) merupakan pendekatan regresi nonparametrik yang mampu menangkap hubungan antara variabel dengan mempertimbangkan efek spasial dan fleksibilitas bentuk fungsi regresi. Model ini sangat relevan untuk menganalisis fenomena kompleks yang dipengaruhi oleh faktor geografis dan bersifat dinamis dalam ruang serta waktu. Berbeda

dengan model regresi klasik yang mengasumsikan hubungan global yang seragam di seluruh wilayah, GWSNR memungkinkan variasi lokal dalam pola hubungan antar variabel, sehingga lebih akurat dalam menangkap pola yang tidak linier dan tidak homogen.

Dalam konteks ketahanan pangan, GWSNR dapat digunakan untuk memodelkan fluktuasi harga pangan berdasarkan faktor lingkungan, sosial-ekonomi, dan geografis. Misalnya, harga beras di suatu daerah mungkin dipengaruhi oleh produktivitas pertanian lokal, aksesibilitas distribusi, serta kondisi cuaca yang berbeda-beda di setiap lokasi. Dengan pendekatan ini, kebijakan yang dihasilkan akan lebih tepat sasaran, karena mempertimbangkan karakteristik unik dari setiap wilayah.

Selain dalam bidang pangan, GWSNR juga memiliki aplikasi luas dalam lingkungan, epidemiologi, dan ekonomi. Dalam studi perubahan iklim, misalnya, model ini dapat digunakan untuk memprediksi dampak kenaikan suhu dan curah hujan terhadap produktivitas pertanian atau penyebaran penyakit. Dalam epidemiologi, GWSNR dapat membantu mengidentifikasi pola penyebaran penyakit berbasis lokasi dan faktor risiko spesifik di setiap daerah. Dengan kemampuan adaptasi terhadap pola lokal, model ini menjadi alat yang sangat efektif dalam analisis fenomena kompleks yang bersifat dinamis dan heterogen.

5.1. Pemodelan Ketahanan Pangan dengan Regresi Nonparametrik Spasial GWSNR

Dalam banyak studi yang menggunakan regresi berbasis spasial, pemilihan bobot geografis sering kali bergantung pada fungsi kernel yang digunakan. Sementara itu, dalam regresi spline nonparametrik, pemilihan jumlah dan lokasi titik simpul menjadi faktor krusial yang memengaruhi keakuratan model. Kombinasi kedua aspek ini dalam GWSNR memerlukan strategi optimasi yang sistematis untuk

memastikan bahwa model yang dihasilkan mampu menangkap pola data dengan baik dan memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional.

Penelitian ini dilakukan dalam konteks meningkatnya kebutuhan analisis data spasial di berbagai bidang, seperti ekonomi, lingkungan, dan kesehatan, di mana hubungan antar variabel dapat berbeda dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Dengan menemukan metode seleksi optimal untuk titik simpul dan bobot geografis, penelitian ini berkontribusi dalam memperbaiki teknik pemodelan regresi berbasis spasial dan meningkatkan kualitas hasil analisis (Sifriyani, Budiantara I N., Krishna P. C., et al 2024).

Tujuan Penelitian

1. Mengembangkan metode optimasi dalam pemilihan titik simpul (knot points) yang paling sesuai dalam model Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR).
2. Menentukan bobot geografis (geographic weighting) terbaik yang dapat meningkatkan akurasi estimasi model regresi spline nonparametrik berbasis spasial.
3. Membandingkan performa model GWSNR dengan metode regresi spasial lainnya untuk menilai efektivitas pendekatan yang diusulkan.
4. Memberikan rekomendasi praktis dalam pemodelan regresi nonparametrik berbasis spasial guna meningkatkan ketepatan analisis dalam berbagai bidang aplikasi.

Dengan penelitian ini, diharapkan diperoleh metode yang lebih akurat dan efisien dalam menangani data spasial yang kompleks, serta memperkuat pemahaman tentang hubungan variabel yang bervariasi secara geografis.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini berfokus pada Indeks Ketahanan Pangan (Food Security Index) sebagai ukuran kondisi ketahanan pangan suatu wilayah yang mencerminkan ketersediaan, aksesibilitas, dan kualitas pangan yang aman, bergizi, serta terjangkau bagi masyarakat. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang mencakup Indeks Ketahanan Pangan tahun 2022, yang diperoleh dari Badan Pangan Nasional melalui publikasi *Food Security Statistics 2023*. Selain itu, variabel prediktor yang dipertimbangkan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Badan Pangan Nasional, dengan unit analisis yang mencakup 34 provinsi di Indonesia (Sifriyani, Budiantara I N., Krishna P. C., et al 2024).

Dalam menganalisis hubungan antara indeks ketahanan pangan dan faktor-faktor yang memengaruhinya secara spasial, penelitian ini menggunakan metode Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression (GWSNR). Proses analisis meliputi beberapa tahap, yaitu pemetaan spasial (spatial mapping) untuk melihat distribusi geografis indeks ketahanan pangan dan variabel prediktor, analisis statistik deskriptif untuk memahami karakteristik data, serta pengujian efek spasial guna memastikan adanya perbedaan hubungan antar wilayah. Selanjutnya, dilakukan pemodelan menggunakan GWSNR untuk menangkap variasi hubungan antar variabel di berbagai lokasi secara lebih fleksibel dibandingkan dengan metode regresi konvensional. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan memberikan pemahaman lebih mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan pangan serta meningkatkan ketepatan analisis dalam pengambilan keputusan terkait kebijakan pangan di Indonesia.

Tabel 5.1. Variabel Penelitian dan Sumber Data

Variable	Symbol	Variable Description	Unit	Source
Respond	y	Food Security Index	Index	National Food

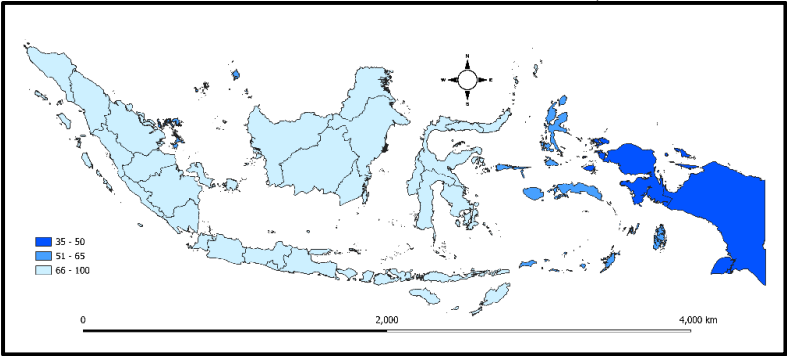
Variable	Symbol	Variable Description	Unit	Source
Predictor	x_1	Rice Production	Ton(s)	Agency of Ministry of Agriculture, Statistics Indonesia, and Department of Agriculture throughout Indonesia
	x_2	Red Chili Production	Ton(s)	Statistics Indonesia and Directorate General of Horticulture
	x_3	Shallot Production	Ton(s)	Statistics Indonesia and Directorate General of Horticulture
	x_4	Palm Oil Production	Ton(s)	Directorate General of Plantations
	x_5	Beef Production	Ton(s)	Directorate General of Livestock and Animal Health
	x_6	Production of chicken meat	Ton(s)	Directorate General of Livestock and Animal Health
	x_7	Expenditure For Food	Rupiah(s)	National Socioeconomic Survey on March by Statistics Indonesia
	x_8	Percentage of Poor Population	Percent	National Socioeconomic Survey on March by Statistics Indonesia
	x_9	Percentage of Population According to Inadequate Consumption Status	Percent	National Socioeconomic Survey on March by Statistics Indonesia
	x_{10}	Percentage of Population with Food Insecurity	Percent	National Socioeconomic Survey on March by Statistics Indonesia

(Sifriyani, Budiantara I N., Krishna P. C., et al 2024).

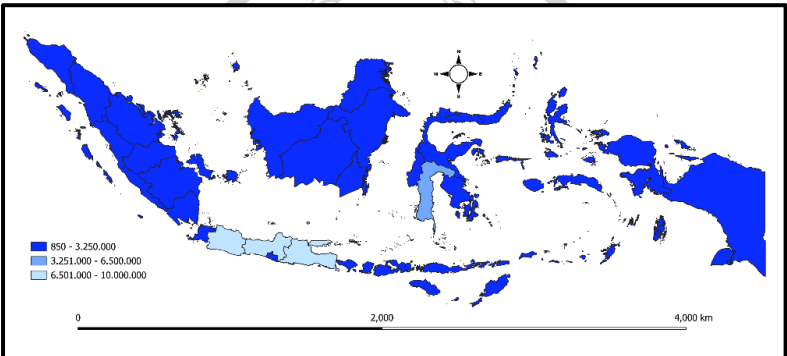
Distribusi Spasial Indeks Ketahanan Pangan dan Variabel Prediktor

Distribusi spasial dari setiap variabel ditampilkan dalam Gambar 1 hingga Gambar 11. Nilai dari setiap variabel ditampilkan dalam rentang nilai yang

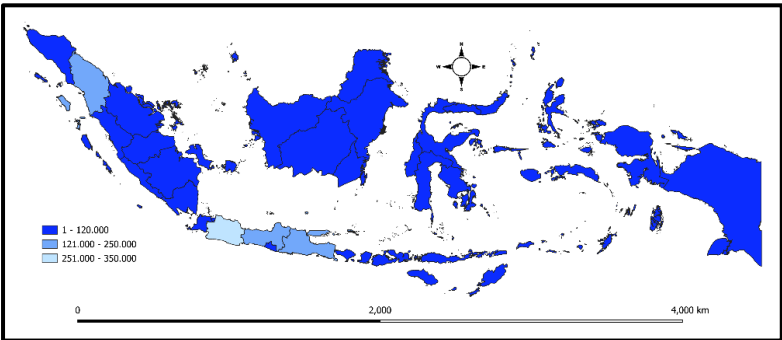
disediakan pada masing-masing gambar (Sifriyani, Budiantara I N., Krishna P. C., et al 2024).



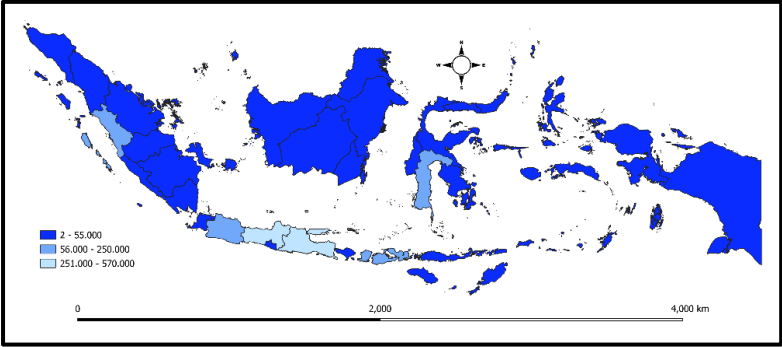
Gambar 5.1 Spatial Distribution of Food security index in 2022 (y)



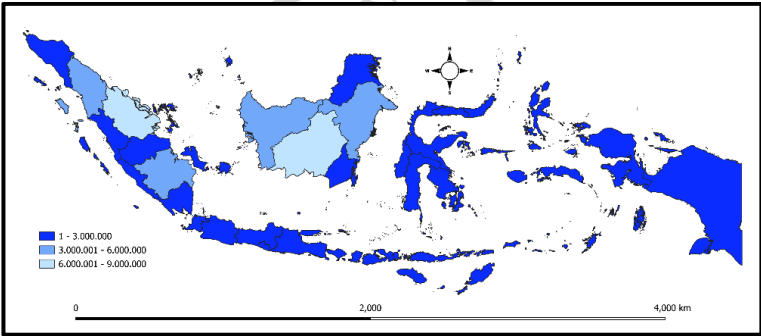
Gambar 5.2 Spatial Distribution of Rice production in 2022 (x_1)



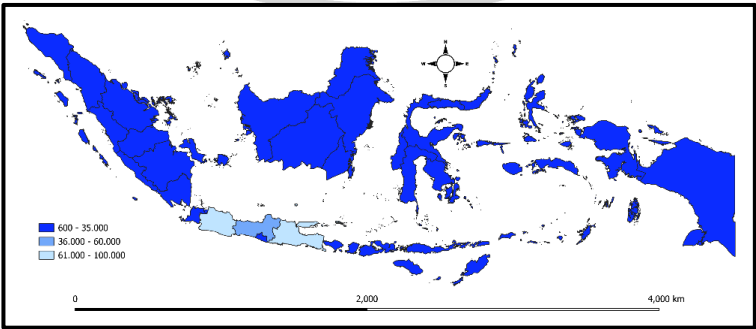
Gambar 5.3 Spatial Distribution of Red chili production in 2022 (x_2)



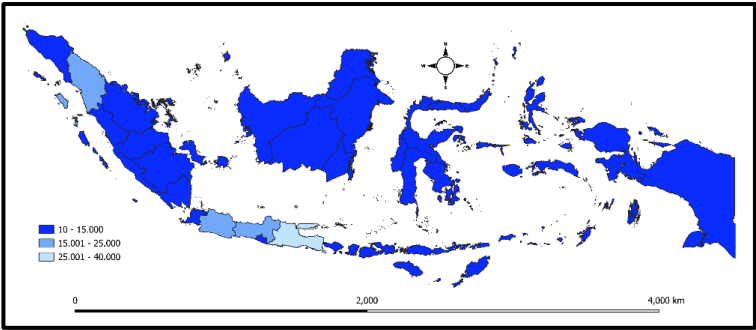
Gambar 5.4 Spatial Distribution of Shallot production (x_3)



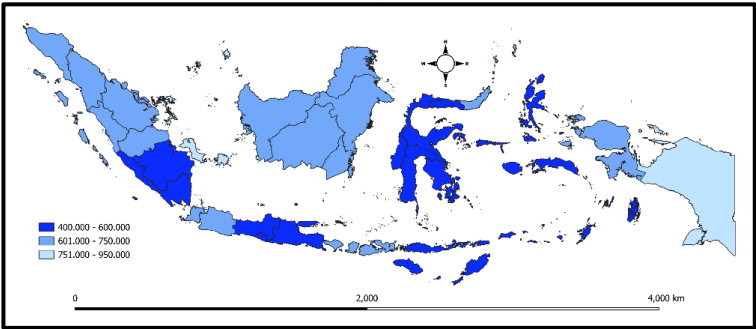
Gambar 5.5 Spatial Distribution of Palm oil production (x_4)



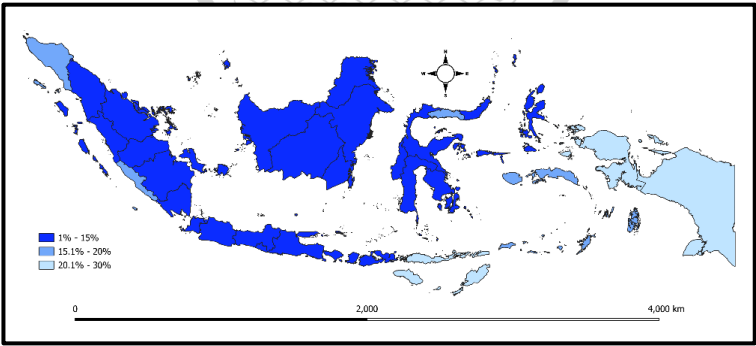
Gambar 5.6 Spatial Distribution of Beef production (x_5)



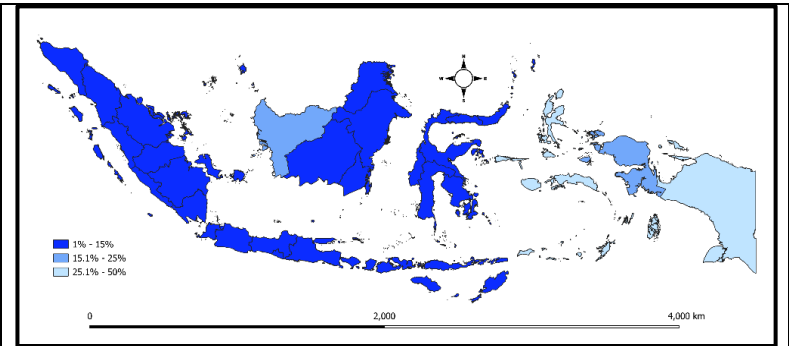
Gambar 5.7 Spatial Distribution of Production of laying chicken meat (x_6)



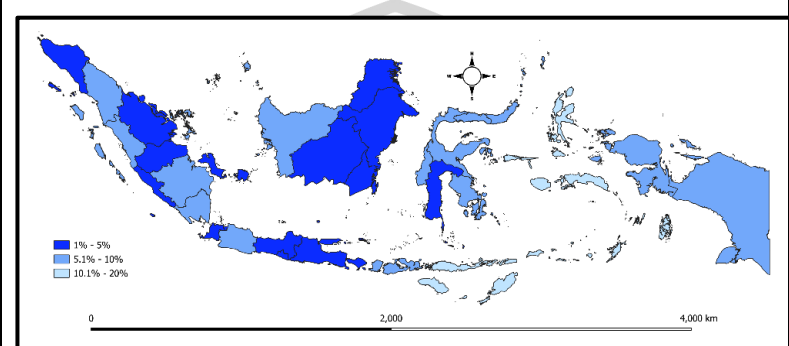
Gambar 5.8 Spatial Distribution of Average monthly food expenditure per capita (x_7)



Gambar 5.9 Spatial Distribution of Percentage of poor population (x_8)



Gambar 5.10. Spatial Distribution of Percentage of population by status of inadequate food consumption (x_9)



Gambar 5.10. Spatial Distribution of Percentage of population with moderate or severe food insecurity, scale of experience of food security (x_{10})

Statistik Deskriptif

Data statistik deskriptif pada variabel penelitian mencakup nilai rata-rata, nilai minimum, dan nilai maksimum. Hasil perhitungan statistik deskriptif disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Descriptive Statistics of Research Data

Variable	Minimum	Maximum	Mean
y	35.48	83.82	72.43
x_1	855	9,789,588	1,600,450
x_2	1	343,067	40.017
x_3	2	564,255	58,958.6
x_4	1	8,785,327	1,378,073

Variable	Minimum	Maximum	Mean
x_5	627	93,303	12,876
x_6	10	38,874	4,267.8
x_7	453,031	923,933	634,229
x_8	4,45	26,56	10,243
x_9	1,78	37,37	11,324
x_{10}	2,87	15,31	6,04

(Sifriyani, Budiantara I N., Krishna P. C., et al 2024).

Uji Efek Spasial

Uji heterogenitas spasial menggunakan Breusch-Pagan menunjukkan adanya efek spasial pada Indeks Ketahanan Pangan ($p\text{-value} = 0.0091 < 0.05$).

Pemodelan GWSNR

Pemodelan dimulai dengan pemilihan pembobot geografis terbaik, yaitu fungsi kernel Gaussian dengan bandwidth 19.34 karena memiliki nilai CV (1,214.49) dan GCV (161.30) terkecil.

Pemilihan Titik Knot Optimal

Titik knot optimal ditentukan berdasarkan nilai GCV minimum, dengan hasil terbaik pada satu titik knot ($GCV = 27.333$).

Estimasi Model GWSNR

Model GWSNR diterapkan pada 34 provinsi dengan estimasi parameter yang menghasilkan model spesifik untuk setiap wilayah. Hasil estimasi menunjukkan pola distribusi estimator $\hat{y}$ mendekati data asli y .

Uji Signifikansi Parameter Model

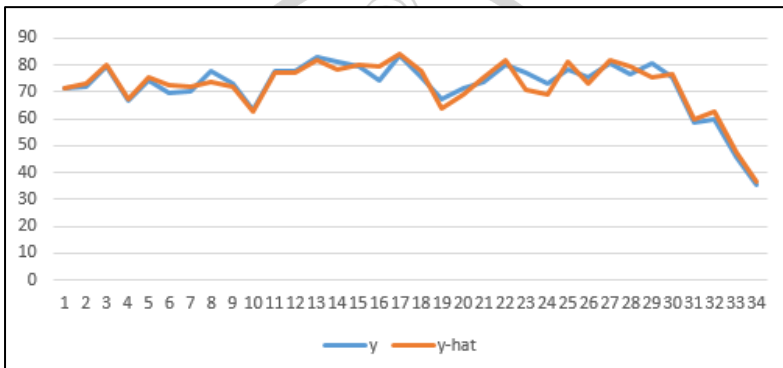
1. Uji Simultan: Uji F menunjukkan semua variabel prediktor ($x_1 - x_{10}$) secara simultan berpengaruh signifikan terhadap indeks ketahanan pangan ($p\text{-value} = 4.68 \times 10^{-5} < 0.05$).
2. Uji Parsial: Berdasarkan uji t, diperoleh 10 klasifikasi provinsi berdasarkan variabel signifikan terhadap indeks ketahanan pangan.

3. Uji Kecocokan Model: Model GWSNR lebih sesuai dibandingkan model global ($p\text{-value} = 0.0097 < 0.05$).

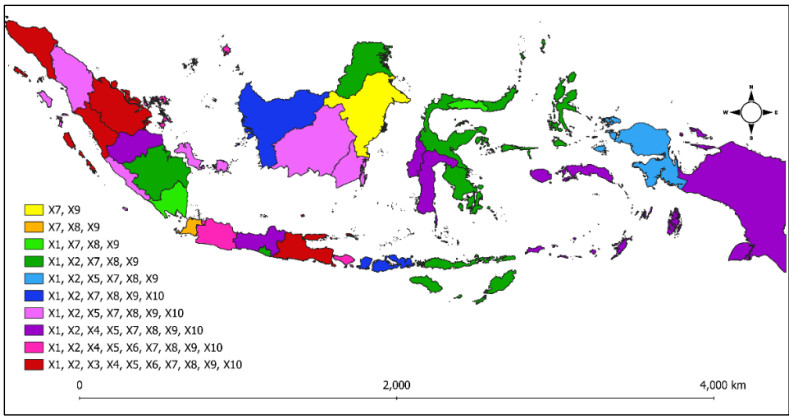
Goodness-of-Fit dan Akurasi Model

Perbandingan model menunjukkan bahwa GWSNR memiliki performa terbaik dengan $R^2 = 95.16\%$ dan RMSE = 2.57, lebih baik dibandingkan regresi nonparametric ($R^2 = 24.02\%$) dan dan GWR ($R^2 = 92.78\%$).

Model GWSNR lebih unggul dalam menangkap efek spasial dan temporal dalam analisis Indeks Ketahanan Pangan di Indonesia.



Gambar 5.11. Distribution pattern of estimator $\hat{y}$ and data variable y



Gambar 5.12. Distribusi Spasial Berdasarkan Variabel Signifikan

Pada Gambar 5.12, wilayah-wilayah yang telah dipetakan berdasarkan kelompok beberapa variabel prediktor yang signifikan terhadap Indeks Ketahanan Pangan berada dalam pemetaan yang sama karena memiliki karakteristik yang seragam. Hal ini sesuai dengan hukum pertama geografi oleh W. Tobler.

Tabel 5.3 Model Goodness-of-Fit and Accuracy Measures		
Model	R ² Value	RMSE
Nonparametric Regression	24.02	4.28
GWR	92.78	3.41
GWSNR	95.16	2.57

Koefisien determinasi untuk model GWSNR adalah 95.16%, yang menunjukkan bahwa model GWSNR dengan variabel $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9$ dan x_{10} dapat menjelaskan keragaman Indeks Ketahanan Pangan di 34 provinsi di Indonesia sebesar 95.16% dengan nilai RMSE sebesar 2.57 (Sifriyani, Budiantara I N., Krishna P. C., et al 2024).

DAFTAR PUSTAKA

- Sifriyani**, I Nyoman Budiantara, Krishna Purnawan Candra, Marisa Putri, "Selection of Optimal Knot Point And Best Geographic Weighted On Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression Model", Vol 13, 2024.
<https://www.Sciencedirect.com/Science/Article/Pii/S2215016124002553>
- Sifriyani**^{a*}, Syaripuddin^b, M. Fathurahman^c, Nariza Wanti Wulan Sari^c, Meirinda Fauziyah^c, Andrea Tri Rian Dani^b, Raudhatul Jannah^c, S. Dwi Juriani^c, Ratna Kusuma^d, "Nonparametric Spatio-Temporal Modeling: Contruction of A Geographically And Temporally Weighted Spline Regression", Vol 14, 2025,
<https://doi.org/10.1016/J.Mex.2024.103098>
- Sifriyani**, Budiantara, I.N., Mardianto, M.F.F., "Determination Of The Best Geographic Weighted Function And Estimation Of Spatio Temporal Model-Geographically Weighted Panel Regression Using Weighted Least Square", Vol 12, 102605, 2024.
<https://www.Sciencedirect.com/Science/Article/Pii/S2215016124000591>
- Sifriyani**, Budiantara, I.N., Kartiko, S.H., And Gunardi., "A New Method Of Hypothesis Test For Truncated Spline Nonparametric Regression Influenced By Spatial Heterogeneity And Application", 2018.
<https://doi.org/10.1155/2018/9769150>
- Sifriyani**, Kartiko, S.H., Budiantara, I.N., And Gunardi., "Development Of Nonparametric Geographically Weighted Regression Using Truncated Spline Approach", 40(4), Pp. 909-920, 2018.
<http://Repository.Unmul.Ac.Id/Handle/123456789/1782>

- Sifriyani.,** Rasjid, M., Rosadi, D., Anwar, S., And Syatirah, R.D.W., “Spatial-Temporal Epidemiology Of Covid-19 Using A Geographically And Temporally Weighted Regression Model”, 14(4), Pp. 742, 2022. <https://www.Mdpi.Com/2073-8994/14/4/742>
- Sifriyani,** Kapita Selektta Statistika Spasial Spatio-Temporal Models, Mulawarman University Press, 2023
- Sifriyani,** Statistika Spasial: Geographically Weighted Models, Mulawarman University Press, 2020
- Sifriyani,** Dani A.T.R, Meirinda Fauziyah, Pengantar Regresi Nonparametrik, Mulawarman University Press, 2023
- Sifriyani,** Ar Rum Mia Sari, Andrea Tri Rian Dani, Syatirah Jalaluddin, “Bi-Response Truncated Spline Nonparametric Regression With Optimal Knot Point Selection Using Generalized Cross-Validation In Diabetes Mellitus Patient's Blood Sugar Levels”, 48, 2023.
- Sifriyani,** I Nyoman Budiantara, M. Fariz Fadillah Mardianto, Eka Riche Febriyani, Nurul Rizky Chairunnisa, Asyifa Charmadya Putri, “Implementation of Data Mining And Spatial Mapping In Determining National Food Security Clusterization”, 8(3), Pp. 800-810, 2024.
- Sifriyani,** S., “Estimasi Smoothing Spline Pada Fungsi Variansi Berdistribusi Gamma Dalam Pendekatan Regresi Nonparametrik”, Vol. 2, Pp. 236-244, 2011.
- Sifriyani,** S., Mulawarman, U., & Rosadi, D., “Pemodelan Susceptible Infected Recovered (Sir) Untuk Estimasi Angka Reproduksi Covid-19 Di Kalimantan Timur Dan Samarinda”, Pp. 1-13, 2020.
- Sifriyani.,** “Evaluation of Factors Affecting Increased Unemployment In East Java Using Ngwr-Ts Method”, 49(1), Pp. 123-142, 2019.

[Http://Repository.Unmul.Ac.Id/Handle/123456789/2978](http://Repository.Unmul.Ac.Id/Handle/123456789/2978)

Sifriyani., “Simultaneous Hypothesis Testing Of Multivariable Nonparametric Spline Regression In The Gwr Model”, 8(4), Pp.123-142, 2019. [Https://Doi 10.5539/Ijisp.V8n4p32](https://doi.org/10.5539/Ijisp.V8n4p32)

Sifriyani., and Hidayat, R., “Application Of Nonparametric Truncated Spline Regression on Infant Mortality Rate In Kalimantan”, 2022. [Https://Doi.Org/10.1063/5.0104011](https://doi.org/10.1063/5.0104011)

Sifriyani., and Rosadi, D., “Susceptible Infected Recovered (Sir) Model For Estimating Covid-19 Reproduction Number In East Kalimantan And Samarinda”, 13(2), Pp. 170-181, 2021. [Https://Doi:10.14710/Medstat.13.2.170-181](https://doi.org/10.14710/Medstat.13.2.170-181)

Sifriyani., and Ruslan., “Analysis Of The Causes Of Flooding In Samarinda City Using Spatial Statistics: Geographically Weighted Regression”, 2022. [Https://Doi.Org/10.1063/5.0104009](https://doi.org/10.1063/5.0104009)

Sifriyani., Dani, A.T.R., Fauziyah, Budiantara, I., Nyoman., “Statistical Modeling: A New Regression Curve Approximation Using Mixed Estimators Truncated Spline And Epanechnikov Kernel”, 31(4), Pp. 1649 – 1655, 2023.

Sifriyani., Dani, A.T.R., Fauziyah, M., And Budiantara, I.N., “Statistical Modelling: A New Regression Curve Approximation Using Mixed Estimators Truncated Spline And Epanechnikov Kernel”, 31(4), Pp. 1649-1655, 2023.

Sifriyani., Dani, A.T.R., Fauziyah, M., And Mar’ah, Z., “[Mixed Estimators Of Truncated Spline-Epanechnikov Kernel On Nonparametric Regression And Its Applications](#)”, 17(4), 2023.

Sifriyani., Dani, A.T.R., Fauziyah, M., Hayati, M.N., Wahyuningsih, S., And Prangga, S., “Spline And Kernel Mixed Estimators In Multivariable Nonparametric Regression For Dengue Hemorrhagic Fever Models”, 2023. [Https://Doi.Org/10.28919/Cmbn/7790](https://doi.org/10.28919/Cmbn/7790)

- Sifriyani.,** Diu, M.Y., Mar'ah, Z., Anggraini, D., And Jalaluddin, S., "Modeling Of Dengue Hemorrhagic Fever Cases In Aws Hospital Samarinda Using Bi-Responses Nonparametric Regression With Estimator Spline Truncated", 2023.
<https://doi.org/10.28919/Cmbn/7888>
- Sifriyani.,** Fauziyah, M., Dani, A.T.R., Wahyuningsih, S., Prangga, S., Istiqomah, N., And Solikhah, A., "[Pelatihan Penggunaan Software Q-Gis Pemetaan Spasial Dan Pengenalan Program Regresi Nonparametrik Di Bps Provinsi Kalimantan Timur](#)", 2(4), Pp. 105-109, 2023.
- Sifriyani.,** Haryatmi., Budiantara, I.N., And Gunardi., "Geographically Weighted Regression With Spline Approach", 101(6), Pp. 1183-1196, 2017.
<http://dx.doi.org/10.17654/MS101061183>
- Sifriyani.,** Ilmi, H., And Mar'ah, Z., "[Application Of Nonparametric Geographically Weighted Spline Regression Model For Spatial Mapping Of Open Unemployment Rate In Kalimantan](#)", 2021.
- Sifriyani.,** Ilmi, H., And Zakiyah., "Application Of Nonparametric Geographically Weighted Spline Regression Model For Spatial Mapping Of Open Unemployment Rate In Kalimantan", 2022.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2123/1/012038/meta>
- Sifriyani.,** Mandang, I., Amijaya, F.D.T., And Ruslan., "Developing Geographically Weighted Panel Regression Model For Spatio-Temporal Analysis Of Covid-19 Positive Cases In Kalimantan, Indonesia", 57(3), Pp. 113-126, 2022.
<https://doi.org/10.35741/Issn.0258-2724.57.3.10>
- Sifriyani.,** Mandang, I., Amijaya, F.D.T., Sholihin, M., And Dani, A.T.R., "A Spatio-Temporal Description Of Covid-19 Cases In East Borneo Using Improved Geographically And Temporally Weighted Regression (I-GTWR)", 2022.
<https://doi.org/10.28919/Cmbn/7572>

- Sifriyani.,** Mandang, I., And Amijaya, F.D.T., “Gis Mapping Based On Spatial-Temporal Model Estimation Affecting Covid-19 Outbreak In Kalimantan”. Pp. 217-225, 2021.
<https://doi.org/10.2991/Aer.K.211222.035>
- Sifriyani.,** Mandang, I., And Amijaya, F.D.T., “Geographically Temporally Weighted Regression Model For Gis Mapping Of Influence Covid-19 In East Kalimantan”, 2022.
<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0111808>
- Sifriyani.,** Ruslan., And Susanty, F.H., “Evaluation Of Forest Productivity And Governance On The Preservation Of Tropical Rain Forests In Kalimantan Using The Ngwr-Ts Nonparametric Geospatial Method”, 13(2), Pp .2373-2379, 2019.
<http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/3468>
- Sifriyani.,** Ruslan., And Susanty, F.H., “Mapping And Analysis Factors Of Affecting Productivity Tropical Rain Forests In East Kalimantan”, 13(10), Pp. 112-121, 2019.
<http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/3210>
- Sifriyani.,** Sari, A.R.M., Dani, A.T.R., And Jalaluddin, S., “[Bi-Response Truncated Spline Nonparametric Regression With Optimal Knot Point Selection Using Generalized Cross-Validation In Diabetes Mellitus Patient's Blood Sugar Levels](#)”, 2023.
- Sifriyani.,** Suyitno., And Rizki, N.A., “Identification Of Factors Affecting Food Productivity Improvement In Kalimantan Using Nonparametric Spatial Regression Method”, 13(11), 2019.
<http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/3211>
- Sihotang, F.R., **Sifriyani.,** And Prangga, S., “[Aplikasi Regresi Nonparametrik Spline Birespon Pada Data Kualitas Air Di Das Mahakam](#)”, 16(3), Pp. 6515-6526, 2021.

- Syaripuddin., A'yun, Q.Q., Indarsih., Solikhatun., Isnaini, U., Wahyuni, S., Amijaya, F.D.T., Sandariria, H., Gunardi., Effendie, A.R., **Sifriyani.**, Dani, A.T.R., Wahyujati, M.F., Mulyadi, T.K., And Putra, F.B., "[Pelatihan Geogebra Untuk Peningkatan Kompetensi Guru Mgmp Matematika Sma/Ma Kota Samarinda](#)", 2(4), Pp. 119-128, 2022.
- Tutik Handayani, **Sifriyani**, Andrea Tri Rian Dani, "Stunting Prevalence Modeling Using Nonparametric Regression of Quadratic Splines", 7(2), 149-160, 2024.
- Zarkasi, R.N., **Sifriyani.**, And Prangga, S., "[Identifikasi Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia Di Kalimantan Menggunakan Regresi Panel](#)", 15(2), Pp. 277-282, 2021.
- Ahmad Rizky Kesuma, Farikah Ayu Rinanda, Ilyas Astafira, Nur Afriani, Rizki Dwi Fadlirhohim, Tri Septi Ayu Lestari, **Sifriyani**, "Pemodelan Produk Domestik Regional Bruto (Pdrb) Di Indonesia Periode 2018-2021 Dengan Analisis Regresi Data Panel", 5(2), Pp. 216-229, 2024.
- Anggraini, S., **Sifriyani.**, And A'yun, Q.Q., "[Tuberculosis Case Model Using Gcv And Ubr Knot Selection Methods In Truncated Spline Nonparametric Regression](#)", 17(3), Pp. 1565-1574, 2023.
- Anisar A.P., **Sifriyani.**, And Dani, A.T.R., "[Estimation Of A Bi-Response Truncated Spline Nonparametric Regression Model On Life Expectancy And Prevalence Of Underweight Children In Indonesia](#)", 17(4), Pp. 2011-2022, 2023.
- Arjun, D. A., **Sifriyani**, S., & Syaripuddin, S., "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Pengangguran Terbuka Di Kalimantan Menggunakan Regresi Nonparametrik Spline Truncated", Vol. 1, Pp. 115-121, 2019.

- Arles, C., **Sifriyani.**, And Amijaya, F.D.T., “[Model Nonparametric GWR Untuk Identifikasi Faktor Yang Mempengaruhi Mahakam](#)”, 21(1), Pp.5-10, 2021.
- Asnita., **Sifriyani.**, Fauziyah, M., “Estimation of Geographically Weighted Panel Regression Model With Bisquare Kernel Weighting Function On Percentage Of Stunting Toddlers In Indonesia”, 18(1), Pp. 0383-0394, 2024.
- Azizah, N., Goejantoro, R., & **Sifriyani, S.**, “Metode Naive Bayes Dengan Pendekatan Distribusi Gauss Untuk Klasifikasi Peminatan Peserta Didik”, Vol 1, Pp. 8-14, 2019.
- D Khoirotunnisa, **S Sifriyani**, M Huda, “Spline Nonparametric Regression With Generalized Maximum Likelihood (Gml) Knot Point Selection Method On Tuberculosis Cases”, 3095 (1), 2024.
- Dani, A.T.R., Putra, F.B., Fauziyah, M., **Sifriyani.**, Suyitno., And Fathurahman, M., “[K-Means Algorithm For Grouping Provinces In Indonesia Based On Macroeconomic And Criminality Indicators](#)”, 11(2), Pp.12-21, 2023.
- Dani, A.T.R., Putra, F.B., Zen, M.A., **Sifriyani.**, Fauziyah, M., Ratnasari, V., And Adrianingsih, N.Y., 2023. “[Pemodelan Kadar Hemoglobin Pada Pasien Demam Berdarah Di Kota Samarinda Menggunakan Regresi Semiparametrik Spline Truncated](#)”, 4(2), Pp.56-64, 2023.
- Faisol. A., Fitriani., And **Sifriyani.**, “Determining The Noetherian Property Of Generalized Power Series Modules By Using X-Sub-Exact Sequence”, 2021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012028>
- Fatimah, F., **Sifriyani.**, Sunaryo, D., And Lestari, E.P., “[Analysis Of The Effect Of Net Profit, Operational Cash Flow, Free Cash Flow, Previous Year Cash Dividends On Cash Dividends In The Indonesia Stock](#)”, 3(1), Pp.56-72, 2022.

- Fauziyah, M., **Sifriyani.**, Wahyuningsih, S., Suyitno., Dani, A.T.R., Mahmuda, S., And Koirudin, H., "[Pengenalan Pojok Statistik Sejak Dini Dan Ilmu Data Sains Bagi Siswa Dan Guru Di Sman Kota Samarinda](#)", 2(3), Pp.79-85, 2023.
- Fitri, N., **Sifriyani**, S., & Yuniarti, D., "Nonparametric Geographically Weighted Regression Dengan Pendekatan Spline Truncated Pada Data Produktivitas Tanaman Padi", Vol. 1, Pp. 98-105, 2019.
- Frans Karta Sayoga Sitohang, **Sifriyani**, Siti Mahmuda, "Application Of Nonparametric Regression Spline Truncated For Modeling The Height Of Yeop Chagi Kicks Of Taekwondo Athletes In Samarinda City", 18(2), Pp. 0657-0666, 2024.
- Handayani, T., **Sifriyani.**, And Dani, A.T.R., "[Nonparametric Spline Truncated Regression With Knot Point Selection Method Generalized Cross Validation And Unbiased Risk](#)", 7(3), 2023.
- Huda, M.N., **Sifriyani.**, And Fitriani., "Real Time Epidemic Modeling Using Richards Model: Application For The Covid-19 Outbreak In East Kalimantan, Indonesia", 2021.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012025>
- Ilmi, H., And **Sifriyani.**, "[Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression Dengan Fungsi Pembobot Bisquare Dan Gaussian Pada Tingkat Pengangguran Terbuka Di Pulau Kalimantan](#)", 14(2), Pp.84-92, 2022.
- Khotimah, A. K., Rahman, A. A., Alam, M. Z., Nur, Y. H., Aufo, T. R., **Sifriyani.**, "Analisis Regresi Linier Berganda Dalam Estimasi Indeks Pembangunan Manusia Di Indonesia", 15(2), Pp. 90–99, 2024.
<https://doi.org/10.30872/Eksponensial.V15i2.1318>
- Lestari, V. K., & **Sifriyani**, D. A., "Model Regresi Data Panel Untuk Mengetahui Konsumsi Listrik Pada Industri Besar Dan Sedang Di Kalimantan.

- Mar'ah, Z., And **Sifriyani.**, "[Geographically Weighted Panel Regression \(Gwpr\) For Covid-19 Case In Indonesia](#)", 17(2), Pp.0879-0886, 2023.
- Masitah, N., & **Sifriyani**, D. Y., "Rancangan Petak Teralur Pada Hasil Panen Tanaman Buncis Di Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman".
- Messakh, G.C., Hayati, M.N., And **Sifriyani.**, "[Comparison K-Means And Fuzzy C-Means In Regencies/Cities Grouping Based On Educational Indicators](#)", 7(1) Pp.99-114, 2023.
- Messakh, G.C., Hayati, M.N., And **Sifriyani.**, "[Penerapan Metode K-Means Dalam Pengelompokan Kabupaten/Kota Di Kalimantan Berdasarkan Indikator Pendidikan](#)", 14(2), Pp. 57-66, 2023.
- Novalia, V., Goejantoro, R., And **Sifriyani.**, "[Perbandingan Metode Klasifikasi Naive Bayes dan K-Nearest Neighbor](#)", 11(2), Pp. 159-166, 2021.
- Noviani, W., **Sifriyani.**, Purnamasari, I., "Pemodelan Regresi Nonparametrik Spline Linear Persentase Penduduk Miskin Di Kalimantan", 1(2), Pp. 35-41, 2020.
- Padatuan, A.B., **Sifriyani.**, And Prangga, S., "[Pemodelan Angka Harapan Hidup Dan Angka Kematian Bayi Di Kalimantan Dengan Regresi Nonparametrik Spline Birespon](#)", 15(2) Pp. 283-296, 2021.
- Paradilla, Y.S., Hayati, M.N., And **Sifriyani.**, "[Implementation Of The Fuzzy Gustafson-Kessel Method On Grouping Districts/Cities In Kalimantan Island Based On Poverty Issues Factors](#)", 17(1), Pp. 0125-0134, 2023.
- Pasarella, M.D., **Sifriyani.**, And Amijaya, F.D.T., "[Nonparametrik Regression Model Estimation With The Fourier Series The Fourier Series Approach And Its Application To The Accumulative Covid-19 Data In Indonesia](#)", 16(4), Pp. 1167-1174, 2022.

- Polanagau, I. Y. A. F., **Sifriyani**, S., & Wasono, W., "Pemodelan Regresi Nonparametrik Spline Truncated Dan Aplikasinya Pada Indeks Pembangunan Manusia Di Pulau Kalimantan", Vol. 1, Pp. 130-137, 2019.
- Purnaraga, T., **Sifriyani**., Prangga, S., "Regresi Nonparametrik Spline Pada Data Laju Pertumbuhan Ekonomi Di Kalimantan", 14(3), Pp. 343-356, 2020.
- Rahmania., **Sifriyani**., Fauziyah, M., "Modeling Open Unemployment Rate In Kalimantan Island Using Nonparametric Regression With Fourier Series Estimator", 18(1) Pp. 0245-0254, 2024.
- Rahmat Hidayat, Muhammad Ilyas, Yuliani, **Sifriyani**, Denysia, "Mathematical Model of The Unemployment Rate With Multiple Spline Regression", 3235(1), 2024.
- Raihani, R., **Sifriyani**., And Prangga, S., "[Geographically Weighted Panel Regression Modelling Of Dengue Hemorrhagic Fever Data Using Exponential Kernel Function](#)", 7(4), Pp. 961-975, 2023.
- Rizki Dwi Fadlirhohim, **Sifriyani**, Andrea Tri Rian Dani, "Modeling Stunting Prevalence In Indonesia Using Spline Truncated Semiparametric Regression", 18(3), Pp. 2015-2028, 2024.
- S Prangga, Da Nohe, M Fathurahman, S **Sifriyani**, M Siringoringo, "Pelatihan Visualisasi Data Menggunakan Ggplot2 Bagi Dosen Dan Mahasiswa Se-Kota Samarinda", 3(1), Pp. 134-141, 2024.
- Saputri, M.N., **Sifriyani**., And Wasono., "[Application Of Nonparametric Geographically Weighted Regression Method On Open Unemployment Rate Data In Indonesia](#)", 17(4), Pp. 2071-2080, 2023.
- Sari, A.R.M., **Sifriyani**., and [Huda](#), M.N., "[Regression Nonparametric Spline Estimation On Blood Glucose Of Inpatients Diabetes Mellitus At Samarinda Hospital](#)", 17(1). Pp. 0147-0154, 2023.

Esmar, Sifriyani, Dani A.T.R., Studi Simulasi:
Perbandingan Model Regresi Nonparametrik
Dengan Fungsi Kernel Gauss Dan Kuartik, 2025



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah robbil'alamin, segala puji dan syukur tak henti-hentinya kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga saya dapat mencapai posisi akademik yang terhormat ini serta berdiri di hadapan forum yang mulia ini untuk menyampaikan Orasi Ilmiah Guru Besar. Salawat dan Salam Semoga Allah SWT limpahkan Kepada Nabi Besar Muhammad SAW Beserta Keluarga, Sahabat Dan Pengikutnya Sampai Akhir Zaman.

Pada kesempatan yang penuh berkah ini, perkenankan saya menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada beberapa pihak. Ucapan penghargaan dan terimakasih kepada Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, yang telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk mengemban amanah sebagai Guru Besar dalam bidang Regresi Nonparametrik dan Statistika Spasial, terhitung mulai 1 Desember 2024. Kepercayaan ini merupakan anugerah yang luar biasa yang akan saya jalankan dengan penuh tanggung jawab demi kemajuan ilmu pengetahuan dan pendidikan di Indonesia.

Penghargaan dan terima kasih setinggi-tingginya kepada Bapak Rektor Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU., ASEAN Eng. dan Wakil Rektor Universitas Mulawarman. Ketua, Sekretaris, serta seluruh anggota Senat Universitas Mulawarman, atas kepercayaan dan dukungannya.

Penghargaan dan terima kasih kepada Dekan FMIPA Unmul Ibu Dr. Dra. Hj. Ratna Kusuma, M.Si., Wakil Dekan dan jajarannya di FMIPA Universitas Mulawarman. Ketua, Sekretaris, serta seluruh anggota Senat FMIPA Universitas Mulawarman. Terimakasih kepada Bapak/Ibu Dosen Sejawat di Jurusan Matematika dan Program Studi Statistika Universitas

Mulawarman atas kebersamaan, motivasi, dan dukungan selama ini. Kolaborasi dan sinergi dalam perjalanan akademik di Kampus.

Dengan penuh rasa hormat dan kasih, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya, Bapak Drs. H. Muhammad Ishaq Husain, M.Ag. dan Mama Hj. Samini Junaidi, atas doa, kasih sayang, dan pengorbanannya yang tiada henti. Segala pencapaian ini tidak akan terwujud tanpa restu dan bimbingan mereka, yang senantiasa menjadi sumber kekuatan dalam menghadapi berbagai tantangan.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada suami saya, Dr. Ruslan, M.Pd., serta anak-anak kami, Alya Rizki Ramadhani, Muhammad Ikhsan, dan Aisyah Ayla Rafanda, atas cinta, doa, dukungan, serta kesabaran dalam menemani perjalanan akademik saya. Kehadiran mereka menjadi motivasi terbesar dalam menjalankan tugas dan tanggung jawab sebagai akademisi.

Kepada saudara-saudara saya, Nur Hayani, M.Kes., Abd Basit, M.Pd., dr. Husnul Khatimah, dr. Sp. Orthopedi Djalaluddin Djawi, dan Zakiyah Tul Mar'ah, M.Si., saya haturkan terima kasih atas dukungan serta semangat yang selalu diberikan. Kebersamaan dan doa mereka menjadi penyemangat dalam menjalani setiap proses kehidupan dan akademik.

Kepada kerabat yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu serta sahabat yang senantiasa memberikan dukungan, baik moril maupun materil, saya ucapkan terima kasih atas doa dan kebersamaannya selama ini. Persahabatan dan silaturahmi yang terjalin memberikan warna tersendiri dalam perjalanan hidup saya.

Terima kasih yang mendalam saya sampaikan kepada guru-guru kami di SD Inpres Malengkeri, SMP Pondok Pesantren Ummul Mukminin, dan MAN Model Makassar yang telah memberikan dasar ilmu yang kuat dan membentuk karakter saya hingga saat ini.

Juga kepada dosen-dosen kami di Jurusan Pendidikan Matematika Universitas Negeri Makassar, Magister Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dan Doktoral Matematika Universitas Gadjah Mada yang telah membimbing, menginspirasi, dan menuntun saya dalam dunia akademik.

Terkhusus, kepada promotor saya, Prof. Dr. Sri Haryatmi Kartiko, M.Sc. (alm), Prof. Dr. I Nyoman Budiantara, M.Si, dan Prof. Gunardi, M.Sc, saya haturkan penghormatan dan terima kasih atas bimbingan, arahan, serta kontribusi ilmiah dalam perjalanan akademik saya. Mereka adalah sosok yang telah mengasah kemampuan akademik saya dan membentuk cara berpikir saya dalam bidang statistika.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada rekan-rekan di Forum Pendidikan Tinggi Statistika (FORSTAT) dan Ikatan Statistisi Indonesia (ISI), yang selalu menjadi inspirasi dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan memajukan bidang statistika di Indonesia. Diskusi dan kolaborasi yang terjalin memberikan wawasan yang lebih luas dalam keilmuan yang saya tekuni.

Serta terima kasih kepada seluruh mahasiswa Program Studi Statistika yang telah menjadi bagian dari perjalanan akademik saya, memberikan semangat, serta tantangan intelektual yang berharga. Semangat mereka dalam belajar dan berkembang menjadi motivasi bagi saya untuk terus berkontribusi dalam dunia akademik.

Kepada Bapak/Ibu dan hadirin sekalian, saya menghaturkan terima kasih atas kesediaannya untuk menghadiri acara orasi ilmiah ini. Semoga Allah SWT membalas amal kebaikan Bapak/Ibu sekalian dengan pahala yang berlipat ganda. Kehadiran dan doa dari hadirin semua memberikan arti mendalam dalam momen bersejarah ini.

Akhirnya, saya berserah diri kepada Allah SWT, serta memohon perlindungan dan ketulusan niat dalam menjalankan tugas sebagai dosen dan peneliti,

agar ilmu yang saya miliki dapat didarmabaktikan demi kemaslahatan masyarakat dan negara. Semoga amanah ini dapat saya jalankan dengan penuh tanggung jawab dan dedikasi. Aamiin Allahumma Aamiin.

Wabillahi Taufiq Wal Hidayah, Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.



CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Dr. Sifriyani, S.Pd. M.Si.
NIP : 198211232008122005
NIDN : 002311823
Tempat, Tanggal
Lahir : Raha, 23 November 1982
Agama : Islam
Email : sifriyani@fmipa.unmul.ac.id
sifriyanistatistika@gmail.com
No HP : +6285242592527
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam
Pangkat, Gol. : Pembina, IVa
Jabfung, TMT : Guru Besar (Profesor)
TMT Golongan : 1 Oktober 2024
ID SINTA : 6654491
ID SCOPUS : 57193702096

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. (2004) Sarjana (S1) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia
2. (2007) Magister (S2) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (Statistika), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia
3. (2018) Doktor (S3) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (Matematika), Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, Indonesia

RIWAYAT PENELITIAN

1. (2021) Penelitian Kompetitif Nasional, Penelitian Dasar dengan Judul Pengembangan Model Nonparametric-Geographically Weighted Timeseries Regression dan Sistem Aplikasi Komputasi untuk Deteksi Penyebaran Covid-19 dalam Konteks Geospasial dan Waktu (Ketua).

2. (2023) Penelitian Kompetitif Nasional, Penelitian Kerjasama-Dalam Negeri dengan Judul Pengembangan Spatio-Temporal Model pada Regresi Nonparametrik Berbasis Machine Learning dan Digitalisasi Prediksi Harga Komoditas Pangan Strategis Nasional pada Pasar Tradisional untuk Memperkuat Ketahanan Pangan Indonesia (Ketua).
3. (2024) Penelitian Kompetitif Nasional, Penelitian Fundamental-Reguler dengan Judul Pengembangan Spatio-Temporal Model pada Regresi Nonparametrik Berbasis Machine Learning dan Digitalisasi Prediksi Harga Pangan untuk Memperkuat Ketahanan Pangan (Lanjutan) (Ketua).
4. (2020) Penelitian Kompetitif Nasional, Penelitian Terapan dengan Judul Model Penilaian Multi Group Decision Making (MGDM) untuk Kesesuaian Lahan Perkebunan Sawit (Anggota).
5. (2021) Penelitian PNBPM FMIPA UNMUL, Statistika dengan Judul Pengembangan Geographically Temporally Weighted Regression dengan Fungsi Jarak Improved Spatial-Timeseries dan Aplikasi Pemodelan Covid-19 di Kalimantan Timur (Ketua).
6. (2021) Hibah ISDB UNMUL, Penelitian Dasar dengan Judul Analisis Spatiotemporal Epidemiologi Dan Gis pada Pemodelan Akumulatif COVID-19 (Ketua).
7. (2022) Penelitian PNBPM FMIPA UNMUL, Statistika dengan Judul Pengembangan Regresi Nonparametrik dengan Estimator Campuran Spline Truncated dan Kernel Epanechnikov serta Penerapan Berbasis Program Komputasi pada Data Demam Berdarah Dengue (DBD) (Ketua).
8. (2023) SKIM Pembiayaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, SKIM Pembiayaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dengan Judul Pemodelan Permasalahan Kriminalitas di Indonesia sebagai Upaya untuk Mempotret Target SDGs 16 "Peace Justice, and

- Strong Institutions" dengan Regresi Nonparametric Spline Truncated Longitudinal (Anggota).
9. (2024) SKIM Pembiayaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, SKIM Pembiayaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dengan Judul Estimasi dan Pengujian Hipotesis Model Nonparametric Geographically Temporally Weighted Regression dengan Pendekatan Spline (Ketua).
 10. (2020) Hibah ISDB UNMUL, Mitigasi Bencana Banjir di Kota Samarinda dengan Pemodelan Spasial (Ketua).
 11. (2019) Penelitian Kompetitif Nasional, Skema Penelitian Terapan, Model Penilaian Multi Group Decision Making (MGDM) Untuk Kesesuaian Lahan Perkebunan Sawit (Anggota).
 12. (2019) Hibah ISDB UNMUL, Evaluasi Peningkatan Produktivitas Hutan Hujan Tropis di Kalimantan dengan Menggunakan Metode Regresi Geospasial (Ketua).
 13. (2017) Penelitian Kompetitif Nasional, Penelitian Disertasi Doktor, Regresi Nonparametrik Spline Truncated dalam Model Geographically Weighted Regression (Ketua).

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. (2022) Hibah PNPB dengan judul Pelatihan Penggunaan Software Q-GIS Pemetaan Spasial dan Pengenalan Program Regresi Nonparametrik di BAPPEDA dan Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur (Ketua).
2. (2023) Hibah PNPB dengan judul Pengenalan Pojok Statistik Sejak Dini dan Diseminasi Pengembangan Ilmu Data Sains bagi Siswa dan Guru di SMAN Kota Samarinda (Anggota).
3. (2024) SKIM Pembiayaan Pengabdian kepada Masyarakat dengan judul Pelatihan Analisis Data

dengan Software R bagi Siswa SMA N 8 Samarinda (Anggota).

RIWAYAT JABATAN

- 1. (2008-sekarang) Dosen Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia
- 2. (2019-2023) Koordinator Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia
- 3. (2023-sekarang) Sekretaris Jurusan Matematika, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

RIWAYAT ORGANISASI

- 1. Forum Pendidikan Tinggi Statistika Indonesia (FORSTAT)
- 2. Ikatan Statistisi Indonesia (ISI)

JOURNAL INTERNATIONAL BEREPUTASI (SCOPUS)	
2025	Sifriyani* , Syaripuddin ^b , M. Fathurahman ^c , Nariza Wanti Wulan Sari ^c , Meirinda Fauziyah ^c , Andrea Tri Rian Dani ^b , Raudhatul Jannah ^c , S. Dwi Juriani ^c , Ratna Kusuma ^d , Nonparametric spatio-temporal modeling: Contruction of a geographically and temporally weighted spline regression, MethodsX, Vol 14, Juni 2025, 103098, https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.103098 (Q1 Scopus)
2024	Sifriyani , I Nyoman Budiantara, Krishna Purnawan Candra, Marisa Putri. Selection of optimal knot point and best geographic weighted on geographically weighted spline nonparametric regression model, MethodsX, Vol 13, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124002553 (Q1 Scopus)
2024	Sifriyani. , Budiantara, I.N., Mardianto, M.F.F., 2024. Determination of The Best Geographic

JOURNAL INTERNATIONAL BEREPUTASI (SCOPUS)	
	Weighted Function and Estimation of Spatio Temporal Model-Geographically Weighted Panel Regression Using Weighted Least Square. MethodsX, Vol 12, 102605, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124000591 (Q1 Scopus)
2024	Rahmat Hidayat, Muhammad Ilyas, Yuliani, Sifriyani , Denysia, Mathematical model of the unemployment rate with multiple spline regression, AIP Conference Proceedings, 3235(1).
2024	D Khoirotunnisa, S Sifriyani , M Huda, Spline nonparametric regression with generalized maximum likelihood (GML) knot point selection method on tuberculosis cases, AIP Conference Proceedings 3095 (1)
2023	Sifriyani. , Dani, A.T.R., Fauziyah, Budiantara, I., Nyoman., 2023. Statistical Modeling: A New Regression Curve Approximation using Mixed Estimators Truncated Spline and Epanechnikov Kernel, <i>Engeneering Letter</i> , 31 (4), 1649 - 1655
2023	Sifriyani. , Diu, M.Y., Mar'ah, Z., Anggraini, D., and Jalaluddin, S., 2023. Modeling of Dengue Hemorrhagic Fever Cases In Aws Hospital Samarinda Using Bi-Responses Nonparametric Regression With Estimator Spline Truncated. <i>Communications in Mathematical Biology and Neuroscience</i> , 2023(27). https://doi.org/10.28919/cmbn/7888
2023	Sifriyani. , Dani, A.T.R., Fauziyah, M., Hayati, M.N., Wahyuningsih, S., and Prangga, S., 2023. Spline And Kernel Mixed Estimators In Multivariable Nonparametric Regression For Dengue Hemorrhagic Fever Models. <i>Communications in Mathematical Biology and Neuroscience</i> , 2023(11). https://doi.org/10.28919/cmbn/7790
2023	Sifriyani , Ar Rum Mia Sari, Andrea Tri Rian Dani, Syatirah Jalaluddin, Bi-response truncated spline nonparametric regression with optimal knot point selection using generalized cross-validation in

JOURNAL INTERNATIONAL BEREPUTASI (SCOPUS)	
	diabetes mellitus patient's blood sugar levels, <i>Communications in Mathematical Biology and Neuroscience</i> , 2023(48).
2023	Sifriyani. , and Hidayat, R., 2022. Application of Nonparametric Truncated Spline Regression on Infant Mortality Rate in Kalimantan. <i>AIP Proceedings</i> . https://doi.org/10.1063/5.0104011
2023	Sifriyani. , and Ruslan., 2022. Analysis of The Causes of Flooding in Samarinda City Using Spatial Statistics: Geographically Weighted Regression. <i>AIP Proceedings</i> . https://doi.org/10.1063/5.0104009
2022	Sifriyani. , Rasjid, M., Rosadi, D., Anwar, S., and Syatirah, R.D.W., 2022. Spatial-Temporal Epidemiology of COVID-19 Using a Geographically and Temporally Weighted Regression Model. <i>Journal Symmetry</i> , 14(4), pp.742. https://www.mdpi.com/2073-8994/14/4/742
2022	Sifriyani. , Mandang, I., Amijaya, F.D.T., and Ruslan., 2022. Developing Geographically Weighted Panel Regression Model For Spatio-Temporal Analysis Of Covid-19 Positive Cases In Kalimantan, Indonesia. <i>Journal of Southwest Jiaotong University</i> , 57(3), pp.113-126. https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.57.3.10
2022	Sifriyani. , Mandang, I., and Amijaya, F.D.T., 2022. Geographically Temporally Weighted Regression Model for GIS Mapping of Influence COVID-19 in East Kalimantan. <i>AIP Proceedings</i> . https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0111808
2022	Sifriyani. , Mandang, I., Amijaya, F.D.T., Sholihin, M., and Dani, A.T.R., 2022. A Spatio-Temporal Description of COVID-19 Cases in East Borneo Using Improved Geographically and Temporally Weighted Regression (I-GTWR). <i>Communications in Mathematical Biology</i>

JOURNAL INTERNATIONAL BEREPUTASI (SCOPUS)	
	and <i>Neuroscience</i> , 2022(2). https://doi.org/10.28919/cmbn/7572
2022	Sifriyani. , Ilmi, H., and Zakiyah., 2022. Application of Nonparametric Geographically Weighted Spline Regression Model for Spatial Mapping of Open Unemployment Rate in Kalimantan. <i>Jornal of Physics, Conference Series, IOP Publishing Conf. Ser</i> 2123 012038. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2123/1/012038/meta
2021	Faisol. A., Fitriani., and Sifriyani. , 2021. Determining the Noetherian Property of Generalized Power Series Modules by Using X-Sub-Exact Sequence. <i>Journal of Physics: Conferences Series</i> 1751 012028. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012028
2021	Huda, M.N., Sifriyani. , and Fitriani., 2021. Real time epidemic modeling using Richards model: application for the Covid-19 outbreak in East Kalimantan, Indonesia. <i>Journal of Physics: Conferences Series</i> 1751 012025. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012025
2021	Sifriyani. , Mandang, I., and Amijaya, F.D.T., 2021. GIS Mapping Based on Spatial-Temporal Model Estimation Affecting COVID-19 Outbreak in Kalimantan. <i>Atlantis Press International B.V.Springer Nature</i> , 211 pp.217-225. https://doi.org/10.2991/aer.k.211222.035
2020	Sifriyani. , and Rosadi, D., 2020. Susceptible Infected Recovered (SIR) Model For Estimating Covid-19 Reproduction Number In East Kalimantan and Samarinda. <i>Media Statistika</i> , 13(2) pp.170-181. https://DOI:10.14710/medstat.13.2.170-181
2019	Sifriyani. , 2019. Evaluation of Factors Affecting Increased Unemployment in East Java using NGWR-TS Method. <i>International Journal of Sciences: Basic and Applied Research</i> , 49(1), pp.123-142.

JOURNAL INTERNATIONAL BEREPUTASI (SCOPUS)	
	http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/2978
2019	Sifriyani., Ruslan., and Susanty, F.H., 2019. Mapping and Analysis Factors of Affecting Productivity Tropical Rain Forests in East Kalimantan. <i>Modern Applied Science</i> , 13(10), pp.112-121. http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/3210
2019	Sifriyani., 2019. Simultaneous Hypothesis Testing of Multivariable Nonparametric Spline Regression in the GWR Model. <i>International Journal of Statistics and Probability</i> , 8(4), pp.123-142. https://doi.org/10.5539/ijsp.v8n4p32
2019	Sifriyani., Suyitno., and Rizki, N.A., 2019. Identification of Factors Affecting Food Productivity Improvement in Kalimantan using Nonparametric Spatial Regression Method. <i>Modern Applied Science</i> , 13(11). http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/3211
2019	Sifriyani., Ruslan., and Susanty, F.H., 2019. Evaluation of Forest Productivity and Governance on the Preservation of Tropical Rain Forests in Kalimantan Using The NGWR-TS Nonparametric Geospatial Method. <i>EurAsian Journal of BioSciences</i> , 13(2) pp.2373-2379. http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/3468
2018	Sifriyani., Kartiko, S.H., Budiantara, I.N., and Gunardi., 2018. Development Of Nonparametric Geographically Weighted Regression Using Truncated Spline Approach. <i>Songklanakarin Journal of Science And Technology</i> , 40(4), pp.909-920. http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/1782
2018	Sifriyani., Budiantara, I.N., Kartiko, S.H., and Gunardi., 2018. A New Method of Hypothesis Test for Truncated Spline Nonparametric Regression Influenced by Spatial Heterogeneity and

JOURNAL INTERNATIONAL BEREPUTASI (SCOPUS)	
	Application. <i>Abstract and Applied Analysis</i> , 2018. https://doi.org/10.1155/2018/9769150
2017	Sifriyani. , Haryatmi., Budiantara, I.N., and Gunardi., 2017. Geographically Weighted Regression with Spline Approach. <i>Far East Journal of Mathematical Sciences</i> , 101(6), pp.1183-1196. http://dx.doi.org/10.17654/MS101061183

JOURNAL PUBLICATIONS (SINTA 2020 - 2024)	
2024	Tutik Handayani, Sifriyani, Andrea Tri Rian Dani, Stunting Prevalence Modeling Using Nonparametric Regression of Quadratic Splines, <i>Jurnal Varian</i> , 7(2), 149-160
2024	Frans Karta Sayoga Sitohang, Sifriyani, Siti Mahmuda, Application of Nonparametric Regression Spline Truncated For Modeling The Height Of Yeop Chagi Kicks Of Taekwondo Athletes In Samarinda City, Barekeng: <i>Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> , 18(2), 0657-0666
2024	Sifriyani, I Nyoman Budiantara, M. Fariz Fadillah Mardianto, Eka Riche Febriyani, Nurul Rizky Chairunnisa, Asyifa Charmadya Putri, Implementation of Data Mining and Spatial Mapping in Determining National Food Security Clusterization, <i>JTAM (Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika)</i> , <i>JTAM (Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika)</i> , 8(3), 800-810
2024	Ahmad Rizky Kesuma, Farikah Ayu Rinanda, Ilyas Astafira, Nur Afriani, Rizki Dwi Fadlirhohim, Tri Septi Ayu Lestari, Sifriyani, Pemodelan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) di Indonesia Periode 2018-2021 dengan Analisis Regresi Data Panel, <i>ESTIMASI: Journal of Statistics and Its Application</i> , 5(2). 216-229.
2024	Rizki Dwi Fadlirhohim, Sifriyani, Andrea Tri Rian Dani, Modeling Stunting Prevalence In Indonesia Using Spline Truncated Semiparametric Regression, Barekeng: <i>Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> , 18(3), 2015-2028.

JOURNAL PUBLICATIONS (SINTA 2020 - 2024)	
2024	Asnita., Sifriyani. , Fauziyah, M., 2024. Estimation Of Geographically Weighted Panel Regression Model With Bisquare Kernel Weighting Function On Percentage Of Stunting Toddlers In Indonesia. Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan. 18(1) pp.0383-0394.
2024	Rahmania., Sifriyani. , Fauziyah, M., 2024. Modeling Open Unemployment Rate In Kalimantan Island Using Nonparametric Regression With Fourier Series Estimator. Barekeng: <i>Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 18(1) pp.0245-0254.
2024	S Prangga, DA Nohe, M Fathurahman, S Sifriyani, M Siringoringo, Pelatihan Visualisasi Data Menggunakan Ggplot2 Bagi Dosen Dan Mahasiswa Se-Kota Samarinda, Jurnal Mulia 3 (1), 134-141
2023	Sandariria, H., Syaripuddin., Gunardi., Effendie, A.R., Sifriyani. , Dani, A.T.R., Wahyujati, M.F., Indarsih., A'yun, Q.Q., Putra, F.B., and Mulyadi, T.K., 2023. Peningkatan Kompetensi Guru MGMP Matematika SMA/MA Kota Samarinda dalam Pembelajaran Statistika Menggunakan Aplikasi RStudio Cloud . <i>Journal of Research Applications in Community Service</i> , 2(4) pp.129-137.
2023	Sifriyani. , Fauziyah, M., Dani, A.T.R., Wahyuningsih, S., Prangga, S., Istiqomah, N., and Solikhah, A., 2023. Pelatihan Penggunaan Software Q-GIS Pemetaan Spasial dan Pengenalan Program Regresi Nonparametrik di BPS Provinsi Kalimantan Timur . <i>Journal of Research Applications in Community Service</i> , 2(4) pp.105-109.
2023	Syaripuddin., A'yun, Q.Q., Indarsih., Solikhatun., Isnaini, U., Wahyuni, S., Amijaya, F.D.T., Sandariria, H., Gunardi., Effendie, A.R., Sifriyani. , Dani, A.T.R., Wahyujati, M.F., Mulyadi, T.K., and Putra, F.B., 2022. Pelatihan Geogebra untuk Peningkatan Kompetensi Guru MGMP Matematika SMA/MA Kota Samarinda . <i>Journal of Research Applications in Community Service</i> , 2(4) pp.119-128.

JOURNAL PUBLICATIONS (SINTA 2020 - 2024)	
2023	Saputri, M.N., Sifriyani. , and Wasono., 2023. <u>Application Of Nonparametric Geographically Weighted Regression Method On Open Unemployment Rate Data In Indonesia</u> . <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 17(4) pp.2071-2080.
2023	Sifriyani. , Dani, A.T.R., Fauziyah, M., and Mar'ah, Z., 2023. <u>Mixed Estimators Of Truncated Spline-Epanechnikov Kernel On Nonparametric Regression And Its Applications</u> . <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 17(4).
2023	Anisar A.P., Sifriyani. , and Dani, A.T.R., 2023. <u>Estimation Of A Bi-Response Truncated Spline Nonparametric Regression Model On Life Expectancy And Prevalence Of Underweight Children In Indonesia</u> . <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 17(4) pp.2011-2022.
2023	Dani, A.T.R., Putra, F.B., Zen, M.A., Sifriyani. , Fauziyah, M., Ratnasari, V., and Adrianingsih, N.Y., 2023. <u>Pemodelan Kadar Hemoglobin pada Pasien Demam Berdarah di Kota Samarinda Menggunakan Regresi Semiparametrik Spline Truncated</u> . <i>BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 4(2) pp.56-64.
2023	Dani, A.T.R., Putra, F.B., Fauziyah, M., Sifriyani. , Suyitno., and Fathurahman, M., 2023. <u>K-Means Algorithm for Grouping Provinces in Indonesia Based on Macroeconomic and Criminality Indicators</u> . <i>Jurnal Statistika Universitas Muhammadiyah Semarang</i> . 11(2) pp.12-21.
2023	Messakh, G.C., Hayati, M.N., and Sifriyani. , 2023. <u>Penerapan Metode K-Means Dalam Pengelompokan Kabupaten/Kota Di Kalimantan Berdasarkan Indikator Pendidikan</u> . <i>Jurnal EKSPONENSIAL</i> . 14(2) pp.57-66.
2023	Messakh, G.C., Hayati, M.N., and Sifriyani. , 2023. <u>Comparison K-Means and Fuzzy C-Means In Regencies/Cities Grouping Based on Educational Indicators</u> . <i>Jurnal Varian</i> . 7(1) pp.99-114.
2023	Raihani, R., Sifriyani. , and Prangga, S., 2023. <u>Geographically Weighted Panel Regression</u>

JOURNAL PUBLICATIONS (SINTA 2020 - 2024)	
	Modelling of Dengue Hemorrhagic Fever Data Using Exponential Kernel Function . <i>Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika</i> . 7(4) pp.961-975.
2023	Fauziyah, M., Sifriyani. , Wahyuningsih, S., Suyitno., Dani, A.T.R., Mahmuda, S., and Koirudin, H., 2023. Pengenalan Pojok Statistik Sejak Dini dan Ilmu Data Sains Bagi Siswa dan Guru di SMAN Kota Samarinda . <i>Journal of Research Applications in Community Service</i> . 2(3) pp.79-85.
2023	Anggraini, S., Sifriyani. , and A'yun, Q.Q., 2023. Tuberculosis Case Model Using Gcv And Ubr Knot Selection Methods In Truncated Spline Nonparametric Regression . <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 17(3) pp.1565-1574.
2023	Mar'ah, Z., and Sifriyani. , 2023. Geographically Weighted Panel Regression (GWPR) For Covid-19 Case In Indonesia . <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 17(2) pp.0879-0886.
2023	Sifriyani. , Sari, A.R.M., Dani, A.T.R., and Jalaluddin, S., 2023. Bi-response truncated spline nonparametric regression with optimal knot point selection using generalized cross-validation in diabetes mellitus patient's blood sugar levels . <i>Commun. Math. Biol. Neurosci</i> .
2023	Sari, A.R.M., Sifriyani. , and Huda, M.N., 2023. Regression Nonparametric Spline Estimation On Blood Glucose Of Inpatients Diabetes Mellitus At Samarinda Hospital . <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 17(1) pp.0147-0154.
2023	Paradilla, Y.S., Hayati, M.N., and Sifriyani. , 2023. Implementation of The Fuzzy Gustafson-Kessel Method On Grouping Districts/Cities In Kalimantan Island Based On Poverty Issues Factors . <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 17(1) pp.0125-0134.
2023	Sifriyani. , Dani, A.T.R., Fauziyah, M., and Budiantara, I.N., 2023. Statistical Modelling: A New Regression Curve Approximation Using Mixed Estimators Truncated Spline and Epanechnikov Kernel. <i>Engeneering Letter</i> . 31(4) pp.1649-1655.

JOURNAL PUBLICATIONS (SINTA 2020 - 2024)	
2023	Handayani, T., Sifriyani. , and Dani, A.T.R., 2023. Nonparametric Spline Truncated Regression with Knot Point Selection Method Generalized Cross Validation and Unbiased Risk . <i>Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika</i> . 7(3).
2022	Pasarella, M.D., Sifriyani. , and Amijaya, F.D.T., 2022. Nonparametrik Regression Model Estimation With The Fourier Series The Fourier Series Approach And Its Application To The Accumulative Covid-19 Data In Indonesia . <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> . 16(4) pp.1167-1174.
2022	Fatimah, F., Sifriyani. , Sunaryo, D., and Lestari, E.P., 2022. Analysis of The Effect Of Net Profit, Operational Cash Flow, Free Cash Flow, Previous Year Cash Dividends On Cash Dividends In The Indonesia Stock . <i>International Journal of Science, Technology & Management</i> , 3(1) pp.56-72.
2022	Ilmi, H., and Sifriyani. , 2022. Geographically Weighted Spline Nonparametric Regression dengan Fungsi Pembobot Bisquare dan Gaussian Pada Tingkat Pengangguran Terbuka Di Pulau Kalimantan . <i>Jurnal Ilmiah Teori dan Aplikasi</i> , 14(2) pp.84-92.
2021	Sifriyani. , Ilmi, H., and Mar'ah, Z., 2021. Application of Nonparametric Geographically Weighted Spline Regression Model for Spatial Mapping of Open Unemployment Rate in Kalimantan . <i>Journal of Physics: Conferences Series</i> 2123 012038.
2021	Sihotang, F.R., Sifriyani. , and Prangga, S., 2021. Aplikasi regresi nonparametrik spline biresponse pada data kualitas air di das mahakam . <i>Jurnal Media Bina Ilmiah</i> , 16(3) pp.6515-6526.
2021	Arles, C., Sifriyani. , and Amijaya, F.D.T., 2021. Model Nonparametric GWR untuk Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi Mahakam . <i>Jurnal Statistika</i> , 21(1) pp.5-10.
2021	Padatuan, A.B., Sifriyani. , and Prangga, S., 2021. Pemodelan angka harapan hidup dan angka kematian bayi di kalimantan dengan regresi

JOURNAL PUBLICATIONS (SINTA 2020 - 2024)	
	nonparametrik spline birespon . <i>Jurnal Statistika</i> , 15(2) pp.283-296.
2021	Zarkasi, R.N., Sifriyani. , and Prangga, S., 2021. Identifikasi Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia Di Kalimantan Menggunakan Regresi Panel . <i>BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> , 15(2) pp.277-282.
2021	Novalia, V., Goejantoro, R., and Sifriyani. , 2021. Perbandingan Metode Klasifikasi Naive Bayes dan K-Nearest Neighbor . <i>Jurnal Eksponensial</i> , 11(2) pp.159-166.
2020	Amaliah, E.N., Darnah., Sifriyani., 2020. Regresi data panel dengan pendekatan common effect model (CEM), fixed effect model (FEM) dan random effect model (REM) (Studi kasus: persentase penduduk miskin menurut kabupaten/kota di kalimantan timur tahun 2015-2018). <i>ESTIMASI: Journal of Statistics and Its Application</i> , pp.106-115.
2020	Purnaraga, T., Sifriyani., Prangga, S., 2020. Regresi nonparametrik spline pada data laju pertumbuhan ekonomi di kalimantan. <i>BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan</i> , 14(3) pp.343-356.
2020	Noviani, W., Sifriyani., Purnamasari, I., 2020. Pemodelan regresi nonparametrik spline linear persentase penduduk miskin di kalimantan. <i>Jurnal Siger Matematika</i> , 1(2), pp. 35-41.

INTERNATIONAL CONFERENCE PRESENTATION	
2023	<i>The 4th International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICOnMNS) 2023</i> . Nusa Dua Bali, 9 – 10 October 2023. (Presenter, and first author)
2022	<i>The 11th International Eurasian Conference on Mathematical Sciences and Applications (IECMSA) 2022</i> . Istanbul, 29 Agustus-1 September 2022. Yildiz University. Turkey (Presenter, and first author)
2021	<i>The 5th International Conference on Science and Engineering (ICSE)</i> , 10-11 November 2021. State

INTERNATIONAL CONFERENCE PRESENTATION	
	Islamic University Sunan Kalijaga. (Presenter, and first author)
2021	<i>The 4th International Conference on Mathematics and Sciences (ICMSc)</i> , 12-13 Oktober 2021. Mulawarman University. (Presenter, and first author)
2021	<i>ICTROPS</i> . Daring, 5-6 Oktober 2021. Mulawarman University. (Presenter, and first author)
2021	<i>ICOWOBAS</i> . Daring, 25-26 Agustus 2021. Erlangga University. (Presenter, and first author)
2021	<i>International Conference on Science and Technology</i> . 3 Juli 2021. Syiah Kuala University. (Presenter, and first author)
2020	<i>3th International Conference on Applied Science Mathematics and Informatics</i> . 3-4 September 2020. Lampung University. (Presenter, and first author)
2019	<i>The 3rd International Conference on Tropical Studies and its Application</i> . Samarinda, 26-27 Agustus 2019. Mulawarman University. (Presenter, and first author)
2017	<i>International Conference on Robust Statistics 2017</i> . Australia, 3-7 Juli 2017. University of Sydney. (Presenter, and first author)
2016	<i>AMC The Asian Mathematical Conference 2016</i> . Bali, 25-29 Juli 2016. Bali Nusa Dua Convention Center. (Presenter, and first author)
2015	<i>International Conference on Science and Technology (ICST) 2015</i> . Yogyakarta, 11-12 November 2015. Gadjah Mada University. (Presenter, and first author)
2015	<i>The 3rd IndoMS International Conference on Mathematics and Its Applications</i> . Depok, 3-4 November 2015. University of Indonesia. (Presenter, and first author)
2015	<i>International Conference on Mathematics, Statistics, Computer Sciences, Mathematics Education (ICMSCSME) 2015</i> . Makassar, 2-3 Oktober 2015. Hasanuddin University. (Presenter, and first author)
2015	<i>SEAMS UGM International Conference on Mathematics and Its Applications 2015</i> .

INTERNATIONAL CONFERENCE PRESENTATION	
	Yogsyakarta, 18-21 Agustus 2015. Gadjah Mada University. (Presenter, and first author)

BUKU PUBLIKASI	
2023	Sifriyani. (2023). Kapita Seleкта Statistika Spasial Spatio-Temporal Models. Mulawarman University Press.
2023	Sifriyani, Dani, A. T. R., & Fauziyah, M. (2023). Pengantar Regresi Nonparametrik. Mulawarman University Press.
2020	Sifriyani. (2020). Statistika Spasial Geographically Weighted Models. Mulawarman University Press.





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Teguh Wirawan, M.Si

POTENSI KULIT BUAH LAI
(*Durio Kutejensis (Hassk.) Becc.*)
SEBAGAI ADSORBEN POLUTAN ZAT WARNA

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Teguh Wirawan, M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Adsorpsi	3
B. Adsorben	3
C. Serbuk Kulit Buah Lai Sebagai Adsorben.....	4
D. Arang Aktif Serbuk Kulit Buah Lai sebagai Adsorben	5
E. Komposit Magnetit-Arang aktif kulit buah Lai Sebagai Adsorben	7
F. Keunggulan Penggunaan Biomassa sebagai Sumber Arang Aktif	10
G. Tantangan dalam Penggunaan Biomassa ...	10
H. Kesimpulan	11
DAFTAR PUSTAKA.....	12
UCAPAN TERIMA KASIH	14
CURRICULUM VITAE	16

SINOPSIS

Kalimantan Timur adalah salah satu provinsi di Indonesia yang menjadi habitat alami buah lai (*Durio Kutejensis* (Hassk.) Becc.). Buah ini dapat tumbuh hampir di seluruh wilayah kabupaten dan kota di Kalimantan Timur. Sebagai bagian dari keanekaragaman hayati, buah lai memiliki potensi untuk dieksplorasi dan dikembangkan lebih lanjut (Sunaryo, 2015). Hasil pengamatan terhadap selera konsumen yang dilakukan oleh Gapoktan Penangkar Borneo Hijau di Desa Batuah menunjukkan bahwa buah lai banyak diminati oleh konsumen, baik di dalam negeri maupun internasional (Rizal, 2015).

Buah lai memiliki tingkat konsumsi yang cukup tinggi dan diminati oleh berbagai kalangan. Namun, hanya sekitar 20,52% dari bagian buah yang dapat dimakan, sementara sekitar 79,48% bagian lainnya, seperti kulit dan biji, tidak dimanfaatkan. Dengan tingginya konsumsi buah lai, limbah kulit yang dihasilkan juga cukup banyak. Jika kulit tersebut dibakar, dapat menyebabkan polusi udara, sedangkan jika dibiarkan, akan menimbulkan bau tidak sedap. Buah lai dan durian memiliki kesamaan sifat karena keduanya berasal dari genus yang sama. Kulit durian mengandung hemiselulosa sebesar 13,09%, lignin sebesar 15,45%, dan kadar selulosa yang tinggi mencapai 60,45%. Hal ini menunjukkan bahwa bahan tersebut berpotensi digunakan sebagai adsorben untuk menyerap zat warna dan logam (Khairah dan Haryadi, 2019).

Kandungan selulosa dan lignin yang tinggi menyebabkan kulit buah Lai dapat digunakan sebagai adsorben secara langsung. Sedangkan adanya kandungan kedua senyawa tersebut maka kandungan karbon dalam kulit buah lai juga tinggi. Dengan adanya kandungan yang tinggi maka kulit buah lai sangat potensial sebagai arang aktif. Arang aktif

merupakan salah satu adsorben yang mempunyai kegunaan yang sangat luas.

Dalam orasi ilmiah ini, akan dipaparkan potensi kulit buah lai (*Durio Kutejensis* (Hassk.) Becc.) sebagai adsorben polutan zat warna. Adsorben dari buah lai yang berupa serbuk, arang aktif ataupun komposit dengan magnetit (Fe_3O_4).



A. Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu pengikatan molekul dari suatu fluida baik dalam bentuk cair maupun gas ke permukaan benda padat. Bahan padat yang mempunyai kemampuan mengadsorpsi molekul tertentu disebut adsorben. Sedangkan zat yang diadsorpsi disebut adsorbat.

Menurut Cheremisnoff (1978), faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah : (a) sifat fisis dan kimia adsorben, (b) sifat fisis dan kimia adsorbat, (c) konsentrasi adsorbat, (d) sifat fisik cairan (pH dan temperatur), dan (e) waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat dalam sistem.

Treybal (1981) membagi proses adsorpsi menjadi dua yaitu :

1. Adsorpsi fisik (*physical adsorption*). Adsorpsi fisika melibatkan gaya antar molekul yaitu gaya Van der Waals. Adsorpsi ini terjadi akibat adanya daya tarik-menarik antar molekul adsorben dengan adsorbat dan tidak mengalami perubahan kimia. Adsorpsi fisik bersifat reversibel.
2. Adsorpsi kimia (*chemistry adsorption*). Adsorpsi ini terjadi akibat adanya interaksi kimia antara adsorben dengan adsorbat. Proses tersebut merupakan proses irreversibel dan terjadi perubahan kimia.

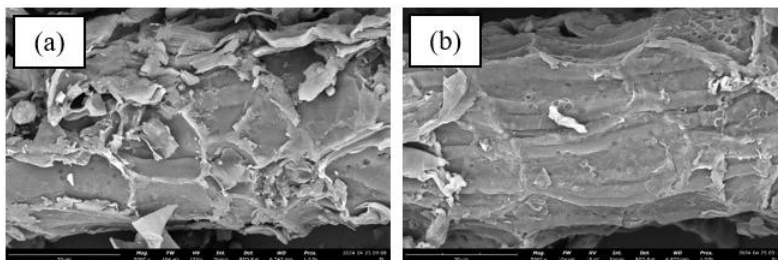
B. Adsorben

Adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada daerah tertentu di dalam partikel itu. Karena pori-pori adsorben biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalamnya menjadi berapa kali lebih luas dari permukaan luar. Adsorben yang telah jenuh dapat diregenerasi agar dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi.

C. Serbuk Kulit Buah Lai Sebagai Adsorben

Kulit buah lai dapat dimanfaatkan sebagai adsorben zat warna tekstil. Adsorben dibuat dengan menghaluskan kulit buah yang sudah dikeringkan sehingga lolos ayakan 60 mesh. Serbuk kulit diaktivasi dengan HCl 2 M untuk meningkatkan luas permukaan adsorben. Data hasil penentuan luas permukaan serbuk kulit Lai mempunyai luas permukaan 84,7645 m²/g sedangkan setelah diaktivasi mempunyai luas permukaan 92,2813 m²/g. Semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin besar pula kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi adsorbat (Pranoto *et al.*, 2018).

Serbuk kulit buah lai dikarakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) yang bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dari serbuk kulit buah lai. Berikut hasil karakterisasi SEM serbuk kulit buah lai sebelum dan sesudah diaktivasi dapat dilihat pada Gambar 1. Serbuk kulit buah lai sebelum diaktivasi terbentuk permukaan yang tidak berpori dan masih terikat rapat satu sama lain, namun setelah diaktivasi memiliki bentuk permukaan yang berpori. Menurut Arung *et al.* (2014), larutan HCl 2 M dapat lebih melarutkan zat-zat pengotor pada adsorben sehingga pori-pori lebih banyak terbentuk dan lebih bersih sehingga proses penyerapan dari adsorbat menjadi lebih maksimal.



Gambar 1. Hasil Karakterisasi SEM Serbuk Kulit Buah Lai
(a) Sebelum diaktivasi dan (b) Setelah diaktivasi

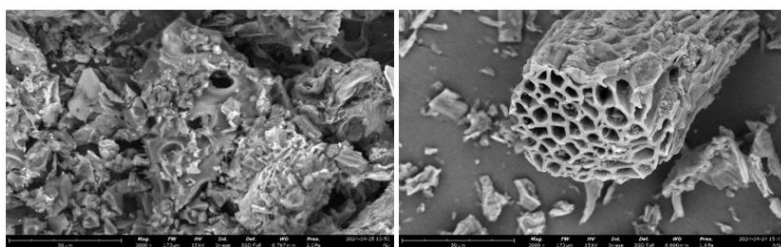
Adsorben serbuk kulit Lai dapat digunakan untuk mengadsorpsi zat warna tekstil direk hitam dan ungu yang digunakan sebagai pewarna di kampung tenun Samarinda seberang. Adsorben serbuk kulit Lai yang teraktivasi dengan HCl 2M juga dapat mengadsorpsi zat warna tekstil rodhamin B dan metilen biru. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan dalam serbuk kulit buah Lai terdapat gugus OH dan C-O yang menunjukkan dalam adsorben tersebut mengandung polisakarida. Adanya gugus fungsi OH menjadikan adsorben tersebut dapat menyerap zat warna tekstil.

D. Arang Aktif Serbuk Kulit Buah Lai sebagai Adsorben

Arang merupakan residu hitam berbentuk padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi serta minim oksigen (Hendra, 1999). Arang Aktif adalah arang yang diproses lebih lanjut sedemikian rupa sehingga daya serapnya tinggi. Perbedaan arang aktif dengan arang adalah berdasarkan sifat pada permukaannya. Permukaan pada arang masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon yang akan menghalangi kereaktifannya. Sedangkan permukaan arang aktif relatif telah bebas dari deposit hidrokarbon sehingga mampu melakukan adsorpsi karena permukaannya lebih luas dan pori-porinya telah terbuka (Baker *et al.*, 1997).

Tanaman lai (*Durio kutejensis*) adalah kerabat dekat durian (*Durio ziberthinus*) yang merupakan salah satu tanaman buah tropis dan eksotik dengan produksi cukup melimpah (Manurung *et al.*, 2023). Mengacu pada kemiripan tersebut maka keduanya memiliki kandungan selulosa yang tinggi berkisar 50-60% (Safitri *et al.*, 2017). Sehingga kulit lai memungkinkan untuk dijadikan untuk bahan arang aktif dikarenakan tingginya kadar selulosa yang dimiliki. Kulit lai yang merupakan limbah pertanian

dapat dimanfaatkan sebagai arang aktif yang berfungsi sebagai adsorben untuk menyerap limbah kimia cair (Tanasale *et al.*, 2014). Arang kulit buah Lai dapat dibuat melalui proses karbonasi pada suhu 450°C selama 1 jam. Untuk mendapatkan arang aktif kulit buah Lai, arang tersebut diaktivasi dengan menggunakan HCl 2 M selama 24 jam. Arang aktif kulit buah Lai berdasarkan karakterisasi dengan menunjukkan porinya lebih terbuka dibandingkan dengan arangnya seperti disajikan dalam gambar 2.



a) b)
Gambar 2. Hasil karakterisasi SEM a) arang kulit buah Lai, b) arang aktif kulit buah lai, pembesaran 3000x

Arang aktif kulit buah Lai sudah diaplikasikan sebagai adsorben zat warna tekstil direk hitam dan ungu dari air limbah kampung tenun Samarinda seberang, serta telah diujikan untuk adsorben metilen biru dan rhodamin B. Studi termodinamika terhadap adsorpsi metilen biru dan rhodamin B menunjukkan ΔH untuk metilen biru dan rhodamin B berturut-turut adalah -18,744 kJ/mol dan -12,055 kJ/mol. bahwa adsorpsinya secara fisik. Tanda negatif menunjukkan proses adsorpsi secara eksotermis sedangkan besarnya menunjukkan proses adsorpsi secara fisik atau kimia. Adsorpsi secara fisik terjadi jika $\Delta H < 60$ kJ/mol dan secara kimia jika $\Delta H > 200$ kJ/mol (Tran *et al.*, 2021). Sehingga adsorpsi metilen biru dan rhodamin B oleh arang aktif kulit buah Lai terjadi secara fisik dan eksotermis.

E. Komposit Magnetit–Arang aktif kulit buah Lai Sebagai Adsorben

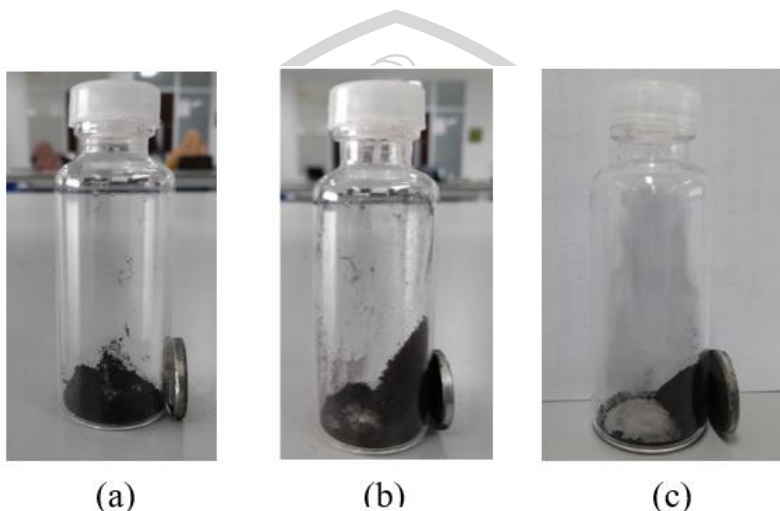
Adsorben dari serbuk kulit buah Lai dan arang aktif kulit buah Lai mempunyai salah satu kelemahan dalam proses adsorpsi yaitu dalam proses pemisahannya. Proses pemisahan yang biasa dilakukan adalah dengan metode penyaringan. Metode ini kurang efektif dan memerlukan waktu relatif lama. Salah satu cara untuk mengatasi ini adalah dengan membuat adsorben magnetik (dapat ditarik oleh medan magnet). Dengan menggunakan adsorben magnetik akan memudahkan pemisahan yaitu dengan menggunakan bantuan magnet

Arang aktif kulit dapat dibuat adsorben magnetik dengan cara dikompositkan dengan magnetit (Fe_3O_4). Komposit adalah material gabungan dari dua atau lebih material yang berlainan. Jadi komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari beberapa material pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat (Fajri *et al.*, 2013). Magnetit (Fe_3O_4) merupakan oksida besi campuran yang terbentuk dari reaksi antara oksida besi (II) dan besi (III) dimana hasil pencampuran ini memberikan sifat yang unggul dibandingkan oksida besi (II) dan oksida besi (III) masing-masing. Keunggulan yang dimiliki magnetit dibandingkan oksida besi adalah sifat magnetiknya yang lebih kuat, hal ini yang menyebabkan magnetit populer dikalangan material sains maupun material terapan (Sari, 2017).

Penggabungan arang aktif kulit buah Lai dengan magnetit menghasilkan bahan komposit baru yang mempunyai dua sifat yaitu, sifat adsorpsi dan sifat magnet. Sifat magnet ini dimanfaatkan dalam proses pemisahan partikel komposit dalam air dengan batang magnet sederhana. Keuntungan pemisahan secara magnetik ini lebih mudah, sederhana, cepat dan efisien

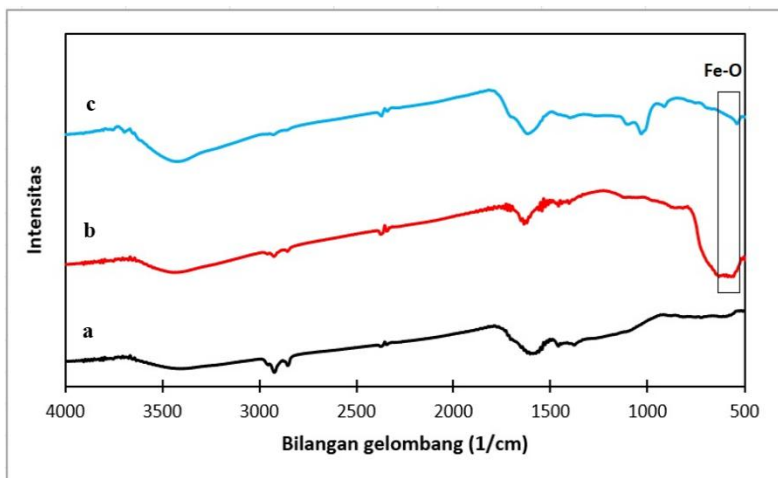
dalam mengambil kembali adsorben dari campuran (Fisli et al., 2018).

Berdasarkan pada Gambar 3(a), arang aktif kulit lai jika didekatkan dengan magnet eksternal tidak dapat tertarik yang menandakan bahwa arang aktif tidak tertarik medan magnet. Pada Gambar 3(b), magnetit (Fe_3O_4) jika didekatkan dengan magnet eksternal dapat tertarik oleh medan magnet. Pada Gambar 4.1 (c), komposit Fe_3O_4 -arang aktif kulit lai ketika didekatkan dengan magnet eksternal dapat tertarik oleh medan magnet sehingga dapat memudahkan pada saat proses pemisahan.



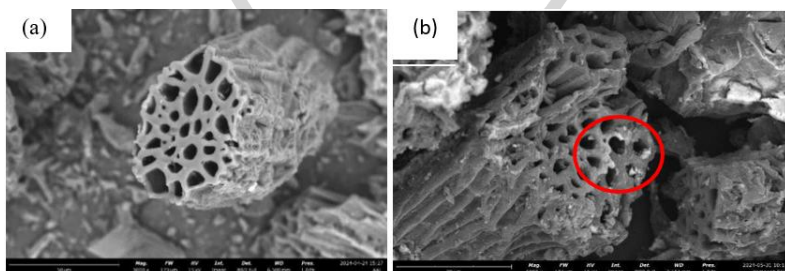
Gambar 3. Foto (a) Arang Aktif Kulit Lai, (b) Magnetit (Fe_3O_4), (c) Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Kulit Lai

Berdasarkan spektra FTIR (Gambar 4), pada magnetit terdapat pita serapan pada bilangan gelombang $632,6 \text{ cm}^{-1}$ yang berasal dari vibrasi stretching pita serapan berupa ikatan Fe-O. Pita serapan ini tidak tampak pada spektra arang aktif yang menunjukkan bahwa arang aktif tidak mengandung gugus Fe-O. Pita terapan tersebut tampak pada spektra komposit, yang menunjukkan komposit tersebut telah berhasil disintesis.



Gambar 4 Spektra FTIR a. Arang Aktif, b. Magnetit, c. komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Kulit Lai

Berdasarkan Gambar 5(a) memperlihatkan citra SEM pada arang aktif kulit lai terlihat memiliki permukaan yang berpori. Pada Gambar 5(b), komposit Fe_3O_4 -arang aktif kulit lai terlihat memiliki permukaan yang berpori dengan butiran-butiran yang mengisi sebagian pori yang diduga merupakan magnetit (Fe_3O_4).



Gambar 5. Hasil Citra SEM (a) Arang Aktif Kulit Lai, (b) Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Kulit Lai

Komposit Fe_3O_4 -arang aktif kulit Lai telah diuji kemampuannya sebagai adsorben terhadap zat warna

tekstil direk ungu, metilen biru, dan rhodamin B. Hasilnya menunjukkan bahwa komposit tersebut dapat digunakan sebagai adsorben zat warna direk ungu, metilen biru, dan rhodamin B dengan kapasitas adsorpsi maksimum berturut-turut 70,17 mg/g, 100,3772 mg/g, dan 121,8320 mg/g. Studi termodinamika menunjukkan bahwa adsorpsinya berlangsung secara spontan dan eksotermis serta terjadi secara fisik.

F. Keunggulan Penggunaan Biomassa sebagai Sumber Arang Aktif

Penggunaan biomassa sebagai bahan baku untuk pembuatan arang aktif memiliki beberapa keuntungan, di antaranya:

1. Biomassa dapat diperbaharui dan tidak akan habis selama dikelola dengan bijak.
2. Pemanfaatan biomassa untuk pembuatan arang aktif dapat mengurangi limbah pertanian dan industri.
3. Penggunaan biomassa lokal dapat mengurangi biaya bahan baku, serta meningkatkan pendapatan petani atau pengelola limbah.

G. Tantangan dalam Penggunaan Biomassa

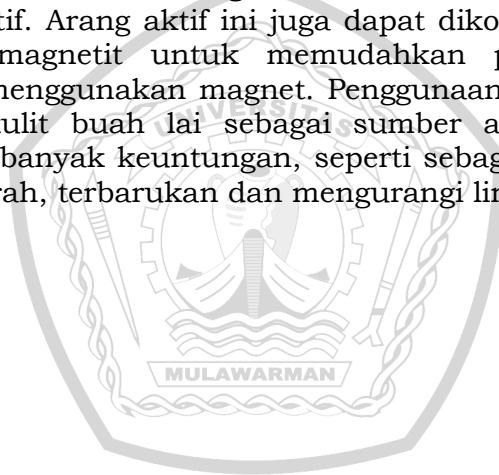
Meskipun biomassa memiliki banyak potensi, terdapat beberapa tantangan dalam penggunaannya sebagai sumber arang aktif, seperti:

1. Kualitas biomassa dapat bervariasi tergantung pada jenis, umur, dan lokasi tumbuhnya bahan tersebut.
2. Pembuatan arang aktif dari biomassa memerlukan teknologi dan proses yang tepat untuk mendapatkan hasil yang optimal.
3. Proses aktivasi membutuhkan energi tinggi, yang dapat meningkatkan biaya produksi arang aktif.

4. Setelah digunakan, arang aktif dapat kehilangan kemampuan adsorpsinya jika tidak diperbaharui atau diregenerasi dengan baik.
5. Proses regenerasi arang aktif memerlukan energi yang besar untuk memanaskan dan membersihkan arang aktif dari zat yang teradsorpsi.

H. Kesimpulan

Kulit buah lai (*Durio Kutejensis*), yang selama ini terbuang, memiliki kandungan selulosa tinggi yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dan bahan baku arang aktif. Arang aktif ini juga dapat dikompositkan dengan magnetit untuk memudahkan pemisahan dengan menggunakan magnet. Penggunaan biomassa seperti kulit buah lai sebagai sumber arang aktif memiliki banyak keuntungan, seperti sebagai sumber yang murah, terbarukan dan mengurangi limbah.



DAFTAR PUSTAKA

- Arung, Yudi, M., & Chadijah, S. (2014). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Asam Klorida (HCl) terhadap Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao*. L) pada Zat Warna Methanil Yellow. *Al-Kimia*, 2(1), 52-63.
- Baker, F.S., Miller, C.E., Repik, A.J. dan E.D. Tollens, 1997, *Activated Carbon, Encyclopedia of Separation Technology*, John Wiley and Sons, New York.
- Cheremisinoff, 1978, *Carbon Adsorption Hand Book*, Ann Orbon Science.
- Fajri, R. I., Tarkono., & Sugiyono. (2013). Studi Sifat Mekanik Komposit Serat *Sansevieria cylindrica* dengan Variasi Fraksi Volume Bermatrik Poliester. *Jurnal Fema*, 1(2), 85-93.
- Fisli, A., Safitri, R. D., Nurhasni., & Deswita. (2018). Analisis Struktur dan Porositas Komposit Fe₃O₄-Karbon Aktif dari Limbah Kertas sebagai Adsorben Magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(4), 179-187.
- Hendra, M. (2002). *Pengendalian Bahan Komposit*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- Khairiah, dan Haryadi, J. (2019). Pengaruh Konduktivitas Listrik Dari Slurry Grafit Carbon Black Kulit Durian (*Durio Zibethinus*) Terhadap Luas Permukaan dan Jari-Jari Pori. In Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian, 2(2), 1109-1112.
- Pranoto, P., Martini, T., & Rachmawati, D. A. (2018). Karakterisasi dan Uji Efektivitas Allophane-Like untuk Adsorpsi Ion Logam Tembaga (Cu). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 14(2), 202-218.
- Rizal, M., Rahayu, S. P., dan Supriyono, A. (2015). Prospek Pengembangan Buah Lai (*Durio Kutejensis*) sebagai varietas unggul lokal di

- Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan.
Prosiding Seminar Nasional Masy Biodiv Indonesia, 1(6), 1497-1501.
- Safitri, D., Rahim, E. A., Prismawiryanti., & Sikanna, R. (2017). Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Selulosa Kulit Durian (*Durio zibethinus*). *Kovalen*, 3(1), 58-68.
- Sari, F. I. P. (2017). Sintesis, Karakterisasi Nanopartikel Magnetit, Mg/Al NO₃ Hidrotal. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(1), 44-49.
- Sunaryo, W. (2015). Aplikasi DNA Barcoding untuk Analisis Keragaman Genetik Lai-Durian (*Durio Zibethinus Kutejensis*) Asal Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Nasional Masy Biodiv Indonesia*, 1(6), 1273-1277.
- Tanasale, M. F. J. D. P., Sutapa, I. W., & Topirtawy, R. R. (2014). Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B oleh Karbon Aktif dari Kulit Durian (*Durio zibethinus*). *Indonesian Journal of Chemical Research*, 2(1), 116-121.
- Tran, HN., Lima, EC., Juang, RS., and Bollinger, JC., (2021), Huan-Ping Chao Thermodynamic parameters of liquid-phase adsorption process calculated from different equilibrium constants related to adsorption isotherms: A comparison study, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106674.
- Treybal, R.E., (1981), *Mass Transfer Operation*, 3rd ed., McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- .

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini perkenankan saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Pemerintah Republik Indonesia, yaitu kepada Menteri Pendidikan Tinggi Sain dan Teknologi Republik Indonesia beserta jajarannya, atas pemberian penghargaan sebagai Guru Besar pada bidang Kimia Analitik dan Lingkungan.

Ucapan terima kasih serta salam hormat, saya sampaikan kepada Rektor Universitas Mulawarman, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU ASEAN Eng, Bapak Ketua dan Sekretaris Senat, Bapak/Ibu Wakil Rektor I, II, III dan IV, dan Bapak/Ibu anggota senat Universitas Mulawarman yang telah memberikan dukungan, sehingga terlaksananya pengukuhan ini dengan lancar.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Dekan FMIPA, Universitas Mulawarman, Dr. dra. H. Ratna Kusuma, M.Si, Wakil Dekan I dan 2 FMIPA Unmul, Ketua, sekretaris, dan anggota senat FMIPA Universitas Mulawarman, Ketua dan sekretaris Jurusan, Program Studi, dosen, dan tendik di FMIPA Universitas Mulawarman, terkhusus bapak ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Mulawarman, atas dukungan dan doanya sehingga saya mendapat capaian ini.

Ucapan terima kasih kepada guru-guru saya di TK pembina Gendingan Ngawi, SDN Gendingan 1 Ngawi, SMPN 1 Walikukun Ngawi, SMA 2 Ngawi, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijawa, S2 Ilmu Kimia UGM, dan S3 MIPA Universitas Airlangga yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.

Ucapan terima kasih saya kepada istri saya tercinta Sri Lestari dan anak saya tercinta Moh. Faiz Attoriq atas pengertian, dukungan, dan doanya selama ini.

Dan yang terakhir dan teristimewa ucapan terima kasih kepada buat kedua orang tua saya almarhum Suwarto dan almarhumah Supiwijatun tercinta yang penuh pengorbanan yang tulus dan ikhlas dalam mendidik dan membesarkan saya dan atas doa-doanya selama ini, serta saudara-saudara saya tercinta Eny Susiati, almarhum Anang Yudianto dan Lilik Yuniati.



CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Dr. Teguh Wirawan, M.Si.
NIP : 196902201994031001
NIDN : 0020026903
Tempat, Tanggal
Lahir : Ngawi, 20-02-1969
Agama : Islam
Email : twirawan@fmipa.unmul.ac.id
No HP : 081350320987
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam
Pangkat, Gol. : Pembina Muda / IVc
Jabfung, TMT : Guru Besar, 1-12-2024
TMT Golongan : 1-01-2024
ID SINTA : 6040918
ID SCOPUS : 57202282567

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) : S1 Kimia Universitas Brawijaya
2. Magister (S2) : S1 Kimia Analitik Universitas
Gadjah Mada
3. Doktor (S3) : S3 Kimia Analitik Universitas
Airlangga

RIWAYAT PENELITIAN

1. Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Titania yang Didukung Karbon Mesopori dari Tulang Ikan untuk Oksidasi Stirena dengan Hidrogen Peroksida Sebagai Oksidan (2021, Anggota)
2. Imobilisasi Asam Fulvat pada Fe_3O_4 -Nanopartikel serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Selektif Logam Berat dan Zat Warna dari Limbah Cair Tenun Samarinda (2021, anggota)

3. Sintesis Ampas Kopi Limbah Dari Kafe Yang Termodifikasi Secara Magnetik sebagai adsorben zat warna dan logam berat (2021, ketua)
4. Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Titania yang Didukung Karbon Mesopori dari Tulang Ikan untuk Oksidasi Stirena dengan Hidrogen Peroksida Sebagai Oksidan (2022, anggota)
5. Pabrikasi dan Karakterisasi Kalsium Sulfat Hemihidrat dari Karbon Tulang Ikan Untuk Mendukung Katalis Titania (2023, anggota)
6. Pemanfaatan kulit buah lai (*Durio Kutejensis* (Hassk.) Becc.) sebagai adsorben zat warna tekstil air limbah industri rumah tangga sarung tenun Samarinda Seberang (2021, ketua)

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. Pelatihan pembuatan sabun detergent cair dan sabun cuci piring untuk meningkatkan produktivitas masyarakat kelurahan Tanah Merah (2022)
2. Pelatihan pengelolaan sampah di panti asuhan Ruhama (2022)
3. Pendampingan praktikum kimia di SMA 1 Muara Badak (2023)
4. Pelatihan penggunaan detektif kimia sebagai media pembelajaran kimia interaktif pada guru-guru SMA di kota Samarinda (2023)
5. Pelatihan pembuatan sabun cair dari minyak jelantah untuk sabun cuci piring (2023)
6. Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila (P5) “Pengelolaan Sampah Organik dan Anorganik di SMP Negeri 42 Samarinda (2024)
7. Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila (P5) “Hidup Sehat Bebas Sampah“ di SMP Negeri 12 Samarinda (2024)

RIWAYAT PUBLIKASI

1. Study of Rhodamine B adsorption onto activated carbon from spent coffee grounds, AIP Conference Proceedings 2237, 020007 (2020)
2. Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Ampas Kopi, Jurnal Kimia Mulawarman (2020)
3. Pemanfaatan Ampas Kopi Sebagai Arang Aktif Untuk Adsorben Rhodamin B, Jurnal Kimia Mulawarman (2020)
4. Catalytic Performance of TiO_2 -Carbon Mesoporous-Derived from Fish Bones in Styrene Oxidation with Aqueous Hydrogen Peroxide as an Oxidant, Jurnal: Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis (2021)
5. Kinetic Study of Styrene Oxidation over Titania Catalyst Supported on Sulfonated Fish Bone-derived Carbon, Jurnal: Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis (2022)
6. Cadmium and zinc accumulation and depuration in tilapia (*Oreochromis niloticus*) tissues following sub-lethal exposure, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology (2022)
7. Gas-Liquid Separator Modified on CV-AAS System for Determination of Total Hg in the Industrial Wastewater Samples, MOLEKUL (2022)
8. Synthesis of magnetic coffee grounds from cafe as a dye adsorbent, AIP Conference Proceedings 2668, 030013 (2022)
9. Adsorpsi Fenol Oleh Arang Aktif Ampas Kopi Teraktivasi Fisik dan Kimia, Jurnal Atomik (2022)
10. Methylene Blue Degradation Using Fe_3O_4 - ZnO/WO_3 Catalyst, AIP Conference Proceedings. 2668, 030004-1-030004-7 (2022)
11. Synthesis of magnetic coffee grounds from cafe as a dye adsorbent, AIP Conference Proceedings (2022)
12. Adsorpsi Zat Warna Tekstil Ungu Dari Air Limbah Industri Rumah Tangga Sarung Tenun Samarinda

- Seberang Dengan Menggunakan Serbuk Kulit Buah Lai (*Durio Kutejensis* (Hassk.) Becc.), jurnal Atomik (2023)
13. Adsorption Of Methylene Blue Using Active Charcoal From Empty Fruit Bunch (EFB), jurnal Kimia Mulawarman (2023)
 14. Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Ketapang Leaf Extract (*Terminalia Catappa* L.) Assisted by Ultrasound for Photodegradation of Methylene Blue, Jurnal Bahan Alam Terbarukan (2023)
 15. One Pot Synthesis of Calcium Sulfate Hemihydrate from Fishbone-derived Carbon, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis (2023)
 16. Sonocatalytic degradation of methylene blue using $\text{WO}_3\text{-ZnO}$ composite, AIP Conference Proceedings 2431, 050004 (2023)
 17. Synergistic Ti-Fe Oxides on Fishbone-Derived Carbon Sulfonate: Enhanced Styrene Oxidation Catalysis, Indones. J. Chem. (2023)
 18. Elektrodekolorisasi Zat Warna Limbah Cair Sarung Tenun Samarinda Menggunakan Elektroda PbO_2/Cu , Jurnal Atomik (2024)
 19. Adsorpsi Zat Warna dari Air Limbah Industri Rumah Tangga Sarung Tenun Samarinda Seberang dengan Menggunakan Adsorben dari Arang Aktif Serbuk Kulit Buah (*Durio Kutejensis* (Hassk.) Becc.), Jurnal Atomik (2024)
 20. Elektrodekolorisasi Limbah Cair Zat Warna Jingga dan Hijau Dari Industri Sarung Tenun Samarinda Menggunakan Elektroda PbO_2/Pb , Prosiding Seminar Nasional (2024)
 21. Adsorpsi Methylene Blue Oleh Arang Aktif: Mini Review, Prosiding Seminar Nasional (2024)
 22. Oxidation of Styrene to Benzaldehyde Using Environmentally Friendly Calcium Sulfate Hemihydrate-Supported Titania Catalysts, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis (2024)

23. Adsorpsi Zat Warna Rhodamine B Menggunakan Serbuk Kulit Buah Lai (*Durio kutejensis* (Hassk.) Becc.) Sebagai Adsorben, *Jurnal Atomik* (2024)

RIWAYAT JABATAN

1. Dosen di Prodi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Mulawarman (1994-2002)
2. Dosen di Prodi Kimia FMIPA Universitas Mulawarman (2002-Sekarang)
3. Kepala Laboratorium Kimia Analitik (2005-2012)
4. Koordinator Program Studi Kimia FMIPA Universitas Mulawarman (2019-sekarang)

RIWAYAT ORGANISASI

1. Anggota Himpunan Kimiawan Indonesia (HKI) (2005-sekarang)





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Ir. Ndan Imang, M.P., Ph.D.

SISTEM PERTANIAN LADANG BERPINDAH:
PRAKTIK, KEARIFAN LOKAL, DAN STIGMA
NEGATIF

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Ir. Ndan Imang, M.P., Ph.D.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pengertian Ladang	2
B. Praktik dan Tahapan Perladangan.....	6
C. Kearifan local pada sistem ladang berpindah	9
D. Stigma negative terhadap sistem Perladangan	28
DAFTAR PUSTAKA.....	32
UCAPAN TERIMA KASIH	36
CURRICULUM VITAE.....	38



SINOPSIS

Assessment of daleh swidden agriculture as an innovative alternative to conventional swidden under conditions of external pressure on local forest management in Kalimantan, Indonesia.

Praktik ladang berpindah bukan sekadar cara bercocok tanam semata. Ladang adalah sebuah sistem yang terintegrasi dengan kearifan lokal dan pengetahuan mendalam tentang ekosistem hutan. Masyarakat adat Dayak sudah memiliki pemahaman yang kuat tentang jenis-jenis tanaman yang cocok ditanam di lahan bekas tebangan, siklus kesuburan tanah, serta cara mengendalikan hama dan penyakit secara alami, serta memiliki aturan adat yang mengatur pembukaan lahan, penggunaan api, dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Pertanian saat ini menghadapi banyak tekanan eksternal seperti perluasan perkebunan secara besar-besaran, konsesi untuk perkebunan dan industri, dan tidak tersedianya dukungan finansial dan komitmen politik dari pemerintah. Tekanan eksternal di atas yang mengabaikan kearifan lokal dalam pengelolaan hutan dan lahan telah mengurangi lahan yang tersedia untuk pertanian ladang. Tekanan eksternal tersebut, pada gilirannya telah memperpendek siklus pertanian ladang dan menurunkan produktivitas pertanian ladang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji aspek sosial-budaya dan ekonomi dari pertanian *daleh* yang inovatif sebagai alternatif pertanian ladang konvensional. Penelitian ini dilakukan di komunitas adat Dayak Bahau di Kabupaten Mahakam Ulu Kalimantan Timur. Data dikumpulkan dengan mewawancarai 20 peladang dan 6 informan kunci yang memahami praktik pertanian ladang system *daleh*. Sistem *daleh* sendiri adalah suatu konsep pertanian ladang yang mengintegrasikan padi ladang, kebun

kakao atau komoditas lainnya, ternak dan perikanan sehingga dapat meningkatkan produktivitas lahan.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa perluasan perkebunan telah mengabaikan kearifan dalam pengelolaan hutan dan lahan dan secara umum menyebabkan tekanan pada pertanian khususnya ladang. Di bawah tekanan seperti itu, pertanian ladang *daleh* dapat dipraktikkan secara efektif karena dapat meningkatkan produktivitas lahan dan juga dapat diterima secara budaya.

Untuk mempraktikkan metode secara efektif diperlukan dukungan dan fasilitasi dari pemerintah kabupaten untuk meningkatkan praktik pertanian berpindah di wilayah studi.

A. Pengertian Ladang

Ladang merupakan salah satu praktik pengelolaan hutan dan lahan tradisional oleh masyarakat di daerah tropis, dan sesuai dengan tipologi sosial yang di dalamnya terdapat saling ketergantungan yang tinggi antara manusia dengan lingkungan (Inoue, 2000; Dove, 1993; Colfer et al., 1997). Lebih lanjut, Sardjono (1990) berpendapat bahwa bentuk-bentuk pertanian ladang tradisional mencerminkan keterkaitan yang optimal antara strategi untuk memenuhi kebutuhan manusia dan upaya untuk menjaga keseimbangan ekologi di wilayah tropis.





Lebih jauh, praktik-praktik ini dapat ditingkatkan melalui teknologi agroforestri untuk beradaptasi dengan dinamika sosial ekonomi setempat dan perubahan lingkungan. Secara konseptual dan praktis, pertanian ladang memiliki hubungan yang erat dengan perhutanan sosial. Sardjono (2007) dan Pasaribu (2007), misalnya, mendefinisikan perhutanan sosial sebagai setiap kondisi dan upaya yang secara erat melibatkan masyarakat setempat dalam kegiatan kehutanan untuk memastikan manfaat ekonomi, ekologi dan sosial, dan sekaligus melestarikan sumber daya.

Beberapa peneliti yang telah mengkaji pertanian ladang seperti yang dipraktikkan oleh masyarakat Dayak Kenyah di Kalimantan Timur (Colfer et al. 1997; Jessup, 1992; Sindju, 2003). Inoue dan Lahjie (1990) mencoba mengembangkan model keberlanjutan sistem pertanian Dayak Kenyah, termasuk ladang. Sindju (2003) dalam sebuah penelitian untuk membandingkan praktik ladang antara masyarakat Kenyah di Kalimantan Barat dan masyarakat Kenyah di Sarawak Malaysia, secara kualitatif menggambarkan praktik ladang dari aspek teknologi.

Selain itu, penelitian tentang sistem ladang berpindah oleh suku Kenyah telah dilakukan sekitar 20 tahun yang lalu, misalnya, Inoue dan Lahjie melakukan penelitian dan mengumpulkan data pada

tahun 1987–1988 (Inoue & Lahjie 1990, Inoue 2000). Selama 20 tahun terakhir, kondisi telah berubah dengan cepat karena aktivitas penebangan, kebakaran hutan, peningkatan migrasi orang Kenyah ke daerah dataran rendah. Sejak tahun 2000, kebijakan desentralisasi dan otonomi daerah di tingkat kabupaten telah dengan cepat mempercepat pembangunan dan ekonomi moneter di daerah terpencil yang dapat memengaruhi praktik ladang.

Tulisan ini merupakan rangkuman singkat dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan oleh Penulis mulai dari tahun 2009 sampai dengan 2023. Lokasi penelitian tersebut adalah komunitas Dayak Kenyah yang masih aktif berladang ada di Kabupaten Malinau, maupun Dayak Kenyah dan Bahau di Kabupaten Mahakam Ulu.

Pertanian ladang diperkirakan saat ini menghidupi sekitar 300-500 juta orang di seluruh dunia, meliputi 30% lahan yang dapat dieksploitasi untuk kegiatan pertanian. Di Asia Pasifik, pertanian ladang meliputi area seluas 73 juta ha. Di Indonesia, pertanian ladang dipraktikkan secara luas di beberapa bagian dan melibatkan sekitar 35 juta hektar lahan, dan sekitar 22 juta petani (Mubyarto et al., 1991)

Pertanian ladang adalah istilah yang sulit dipahami untuk didefinisikan, karena dianggap dan digunakan oleh orang yang berbeda dalam konteks yang berbeda dengan cara yang sangat berbeda. Inoue (2004) menggambarkan pertanian ladang sebagai metode di mana lahan subur diciptakan dari hutan, tetapi sebenarnya ada tiga varian dari proses ini yaitu pertanian ladang tradisional, semi tradisional dan non-tradisional. Ini adalah strategi pertanian yang mengharuskan penebangan, pemotongan, penebangan, dan pembakaran kawasan hutan untuk penanaman petak kebun atau ladang pertanian yang tidak permanen, dan telah menjadi andalan para petani hortikultura dan petani di daerah tropis dan hutan purba. Tebang dan bakar adalah kebalikan dari

'pertanian ladang tradisional' yang hanya mengeksploitasi kesuburan hutan. Jenis pertanian ini biasanya dilakukan oleh petani tanpa lahan atau pemukim yang telah diusir dari wilayah desa pertanian. Sejalan dengan uraian tersebut, Batabyal dan Beladi (2000) menggambarkan tebang dan bakar sebagai intensifikasi pertanian ladang di mana penipisan tanah atau intrusi gulma memerlukan rotasi petak dan siklus bera.

Weinstock dan Sunito (1998) mendefinisikan pertanian ladang berpindah sebagai bentuk pertanian tebas/tebang-bakar yang dicirikan oleh rotasi lahan, bukan rotasi tanaman, atau pertanian dengan masa bera lebih lama daripada masa penanaman. Jika tidak dihadapkan dengan tekanan populasi atau kendala lain, petani ladang berpindah menggunakan lahan hanya selama satu hingga tiga tahun dan kemudian membiarkannya bera dalam waktu yang relatif lama hingga 20 tahun.

Dove (1988) dan Inoue (1999) menunjukkan bahwa istilah 'pertanian ladang berpindah' sering diartikan bahwa masyarakat itu sendiri 'berpindah-pindah' atau semi-nomaden, meskipun sebagian besar dari mereka tinggal di pemukiman yang relatif permanen. Faktanya memang masyarakat menggunakan api untuk membersihkan lahan dan membiarkan bekas ladang diberakan setelah panen.

Selanjutnya, definisi yang dihasilkan pada seminar FAO-PBB yang diadakan di Nigeria tahun 1973 menyatakan "karakteristik penting dari perladangan berpindah adalah bahwa suatu kawasan hutan biasanya dibuka dengan tebas tebang, puing-puingnya dibakar, dan lahan tersebut diolah selama beberapa tahun - biasanya kurang dari lima tahun - lalu dibiarkan kembali menjadi hutan atau vegetasi sekunder lainnya sebelum dibuka dan digunakan lagi".

Kriteria atau faktor nyata yang dianggap krusial untuk membedakan perladangan berpindah dari praktik penggunaan lahan lainnya adalah: (1)

pengolahan tanah disela oleh periode bera secara alami. Budidaya tidak bersifat permanen atau berkelanjutan; (2) durasi periode bera dan periode budidaya dapat bervariasi panjangnya, tetapi masa bera akan relatif panjang, biasanya lebih dari lima tahun; (3) berbagai macam vegetasi dapat tumbuh di lahan bera, tetapi biasanya berupa beberapa jenis hutan, (4) masa bera mungkin cukup atau mungkin tidak cukup untuk memulihkan kesuburan tanah karena periode minimum yang dibutuhkan sangat bervariasi; (5) kepadatan populasi yang terkait dengan budidaya ladang berpindah yang berkelanjutan relatif rendah, karena harus ada cukup lahan per petani untuk meninggalkan sebagian lahannya untuk bera dalam waktu lama (Upadhyay, 1995).

Meskipun pertanian ladang berpindah hampir serupa dalam praktiknya, istilah lokal untuk setiap negara berbeda, misalnya tsheri atau pangshing tsheri di Bhutan, di Guatemala milpa atau tlacolol, di Filipina disebut Kaingin, di Thailand taungya, di Kamerun si Nda Bot, di Wilayah Himalaya Timur disebut jhum, taungya atau dongya dan di Indonesia dikenal luas sebagai ladang ((Upadhyay, 1995; Imang dkk. 2004).

B. Praktik dan Tahapan Perladangan

Inoue (1999) mengkategorikan pertanian ladang berpindah dalam hal keberlanjutannya sebagai berikut: (1) pertanian ladang berpindah tradisional, yaitu pertanian ladang berpindah berkelanjutan yang dipraktikkan oleh penduduk asli. Sebagian besar adalah tipe berulang dengan masa bera yang panjang, (2) pertanian ladang berpindah transisi (Quasi-tradisional): dipraktikkan oleh penduduk asli, tetapi tidak begitu berkelanjutan karena masa bera yang pendek. Sebagian besar pertanian ladang berpindah yang dilakukan oleh penduduk asli umumnya termasuk dalam kategori ini (3) pertanian ladang berpindah non-tradisional: pertanian tebang-bakar

yang tidak berkelanjutan yang sering kali menghasilkan tanaman komersial yang biasanya dipraktikkan oleh pendatang baru, terkadang oleh penduduk asli yang pernah mempraktikkan pertanian ladang berpindah tradisional.

Tahapan dalam berladang berbeda-beda di antara para peneliti. Sebagian peneliti menyatakan ada 6 tahapan dengan menggabungkan beberapa tahapan. Imang (1990) menguraikan kegiatan pertanian ladang secara lebih rinci dalam 9 tahapan sebagai berikut: (1) *Pita ba'i*. Secara harfiah berarti mencari tanah yang subur untuk ladang. (2) *Midik*. Menebang semak belukar dan pohon-pohon kecil di areal ladang. (3) *Nepeng*. Pertama-tama pohon-pohon besar ditebang - tugas kaum lelaki - meninggalkan pohon buah-buahan yang berdiri tegak. Meskipun sebagian besar puing-puing dibersihkan, tunggul-tunggul besar dan batang pohon yang tumbang biasanya dibiarkan di tempatnya. Tahap ini tidak diperlukan pada masa bera yang pendek. (4) Pencacahan (*meto'*). Agar batang pohon yang tumbang lebih cepat kering dan terbakar dengan baik, sebaiknya dipotong-potong kecil. (5) Pembakaran (*nutung*). Pembakaran vegetasi tidak hanya membersihkan tanah untuk penanaman, tetapi juga melepaskan nutrisi; abu menyediakan kalium dan meningkatkan ketersediaan kalsium dan magnesium. Saat bahan yang terbakar membusuk, kadar organik meningkat, meningkatkan kesuburan tanah, (6) Persiapan penanaman (*mekup*). Dalam beberapa kasus, terutama ketika batang pohon yang tumbang dan pohon kecil tidak dibakar dengan sempurna, tunggul harus dikumpulkan dan dibakar kembali, (7) Penanaman (*Nugan*). Penanaman harus segera dimulai, sebelum lapisan abu tertiuap atau tercuci, dan sebelum hujan lebat menyebabkan erosi tanah. Ini adalah tugas bersama, biasanya disertai dengan upacara dan ritual. Lubang dangkal dibuat oleh laki-laki, menggunakan tongkat penggali, sementara perempuan mengikuti di belakang dengan menjatuhkan beberapa benih ke

dalam setiap lubang, (8) Penyiangan (*mabau*). Hujan yang teratur menyebabkan pertumbuhan yang cepat, dan juga munculnya gulma, yang benihnya telah tertiuap dan terbawa ke lokasi, atau yang sudah berada di bawah permukaan. Ini harus disingkirkan secara teratur untuk mencegah hilangnya nutrisi dari tanaman, (9) Panen (*majau*). Selama masa panen, petani biasanya akan tinggal di ladang mereka, melindungi tanaman dari hewan. Benih terbaik dari tanaman tersebut disimpan untuk penanaman tahun berikutnya.

Setelah panen, lahan akan dibiarkan kosong, untuk kembali menjadi hutan, setelah satu atau dua kali panen. Dalam waktu sekitar sepuluh tahun, kanopi hutan sekunder yang tertutup akan terbentuk, setelah itu tingkat nutrisi akan dipulihkan secara memadai untuk memungkinkan siklus perladangan berpindah diulang. Inoue dan Lahjie (1990) menguraikan dasar masa bera dalam lima kategori: (1) Bekan, umur 0 tahun, keadaan vegetasi berupa semak kecil setelah panen padi, (2) Jekau dumit, umur 4 tahun, tinggi 7 m, keadaan hutan berupa semak dengan banyak gulma, (3) Jekau, umur 7 tahun, tinggi 17 m, diameter 20 cm, keadaan hutan berupa hutan sekunder kecil yang sedikit gulmanya, (4) Jekau lataq, umur 20 tahun, tinggi phon sekitar 27, diameter 27 cm, keadaan hutan: hutan sekunder, dan (5) Empak cen jekau, umur 40 tahun, tinggi (tidak dapat diukur), diameter 41 cm, keadaan hutan berupa hutan sekunder tua. Pengelompokan vegetasi berdasarkan masa bera hanya menunjukkan berapa lama lahan dibiarkan, bukan kesuburan tanah. Oleh karena itu, penampakan vegetasi sebagai dasar kesuburan tanah lebih tepat untuk menggambarkan kesuburan suatu lahan, dan vegetasi indikator akan dibahas lebih rinci dalam sub-bab yang lain.

Untuk memudahkan pemahaman terhadap praktik perladangan mulai dari tahapan menebas, menebang sampai pada panen dan penyimpanan padi

di lumbung serta masa bero lahan bekas ladang, disajikan dalam photo-photo pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Photo-photo ladang mulai dari tahap tebas-tebang sampai Panen dan penyimpanan padi serta lahan yang diberokan

C. Kearifan local pada sistem ladang berpindah

Praktik berladang pada etnis Dayak Bahau dan Kenyah masih dilakukan secara tradisional dalam arti masih sedikit sekali menggunakan input sarana produksi dari luar, dengan karakteristik adaptasi ekologis terhadap kondisi fisik lahan serta lingkungan alam setempat. Praktik perladangan dilakukan sebagai suatu siklus kegiatan tahunan pertanian pangan yang terdiri dari serangkaian tahapan kegiatan, yang didalamnya terkandung kearifan-kearifan lokal tertentu. Baik ditinjau dari aspek fisik lingkungan, sosial maupun budaya.

Tahapan berladang pada etnis Dayak Bahau dan Kenyah merupakan suatu rangkaian yang saling mendukung satu sama lain. Artinya, kualitas pekerjaan pada satu tahapan sangat menentukan keberhasilan pada tahapan berikutnya. Sebagai contoh, hasil kegiatan menebang (*Nevang/Nepeng*) dan mencacah (*Mepat/Metoq*) yang baik sangat menentukan baiknya kualitas hasil pembakaran ladang (*Nutung*). Selanjutnya hasil pembakaran ladang yang sempurna akan berdampak baik pula pada kesuburan tanah melalui nutrisi biomasa, serta berdampak mengurangi gulma yang tumbuh di lahan perladangan.

Tahapan berladang serta kearifan local yang berlaku dijelaskan secara detail dalam beberapa bagian di bawah ini.

1. Pemilihan Lahan subur untuk berladang

Tahapan kegiatan berladang dimulai dengan pemilihan/penentuan lahan yang akan dipakai/dibuka untuk ladang pada musim tanam tahun yang bersangkutan. Pertimbangan utama dalam pemilihan/penentuan lahan yang akan dipakai/dibuka untuk ladang adalah perkiraan kesuburan tanah/lahannya.

Kesuburan tanah/lahan merupakan faktor penting dari produktivitas ladang karena pada umumnya petani tradisional tidak menggunakan pupuk untuk menambah kesuburan tanah. Oleh sebab itu, pemilihan lahan untuk berladang memegang peranan penting. Dalam kaitan dengan kesuburan tanah/lahan ini, pengetahuan tentang tipe-tipe vegetasi lahan merupakan bagian dari rangkaian proses pertimbangan pilihan lahan agar produksi ladang nantinya memuaskan. Adapun tipe-tipe vegetasi lahan menurut pengetahuan warga lokal adalah sebagai berikut ini.

Tabel 1. Tipe-tipe vegetasi menurut versi etnis Bahau dan Dayak Kenyah

No	Tipe vegetasi	Umur vegetasi (tahun)	Keterangan
A Etnis Bahau			
1	<i>Be'e/Be'eeq</i>	<1	Vegetasinya berupa semak yang langsung tumbuh setelah padi dipanen.
2	<i>Kaharah</i>	1-2	Vegetasinya berupa semak yang langsung tumbuh setelah padi dipanen, dengan tumbuhan campuran pohon-pohon kecil.
3	<i>Sepitang Uk</i>	2-3	Vegetasinya berupa semak, dengan tumbuhan campuran pohon-pohon kecil, dan pohon-pohon sedang ukuran menengah.
4	<i>Sepitang Ayaq</i>	3-5	Didominasi oleh kayu cepat tumbuh (fast growing species) campuran pohon-pohon kecil dan pohon-pohon sedang ukuran menengah.
5	<i>Tu'aan Uk</i>	6-10	Didominasi oleh kayu cepat tumbuh (fast growing species) dengan campuran pohon-pohon besar ukuran menengah dan ukuran besar.
6	<i>Tu'aan Ayaq</i>	>11	Didominasi oleh campuran pohon-pohon besar ukuran menengah dan ukuran besar, yang berasal dari suksesi vegetasi perladangan dan atau dari suksesi vegetasi alam.
B Etnis Kenyah			
1	<i>Bekan</i>	<3	Vegetasinya berupa semak yang langsung tumbuh setelah padi dipanen.
2	<i>Jekau Bu'et/Jekau Dumit</i>	4-6	Didominasi oleh semak belukar dan kayu cepat tumbuh (fast growing species)
3	<i>Jekau Dadoq</i>	>7	Ketinggian kayu sekitar 7 m dengan diameter rata-rata 20 cm. Jika dibuka menjadi ladang maka gulma yang

No	Tipe vegetasi	Umur vegetasi (tahun)	Keterangan
			tumbuh sudah sangat berkurang karena bijinya sudah banyak yang mati (Imang, 2020)
4	<i>Mpak</i>	Hutan primer	Didominasi oleh campuran pohon-pohon besar ukuran menengah dan ukuran besar, yang berasal dari suksesi vegetasi perladangan dan atau dari suksesi vegetasi alam.

Sumber: Survei lapangan (2020)

Selain pengetahuan mengenai tipe-tipe vegetasi lahan, warga lokal juga memiliki pengetahuan mengenai indikator-indikator kesuburan tanah/lahan dari lamanya masa bero/bera dan dari jenis tumbuh-tumbuhan penanda kesuburan tanah/lahan yang terdapat di tanah/lahan yang bersangkutan.

- (1). Indikator masa bero/bera lahan (*fallow period indicator*): yaitu lamanya lahan ditinggalkan dengan maksud untuk memulihkan kesuburan tanah. Untuk etnis Bahau di Mamahak Besar dan di Matalibaq, masa bero/bera lahan adalah 3-5 tahun, artinya jika bekas ladang sudah ditinggalkan selama 3-5 tahun maka lahan tersebut sudah siap dibuka menjadi ladang, karena secara alami sudah cukup subur. Hal ini juga mengindikasikan bahwa kesuburan tanah/lahan setempat cukup cepat pulih kembali. Sedangkan untuk etnis Dayak Kenyah di Kampung Data Bilang, masa bero/bera lahan justeru agak lebih panjang yaitu 4-6 tahun.
- (2). Indikator tumbuhan penanda kesuburan tanah (*Vegetation indicator*): yaitu indikator tumbuhan tertentu yang tumbuh secara alami dan dapat digunakan sebagai penanda subur atau tidaknya tanah pada lahan tertentu. Sebagai contoh,

misalnya di kalangan warga etnis Kenyah, termasuk yang di Kampung Data Bilang Ulu, indikator tumbuhan yang menandakan bahwa tanah subur (dalam bahasa Dayak Kenyah) misalnya adalah: taap, batoq, tepo, udu penganen, uwei seringan, uteq maq, benuaq, tekajeng, kidau, tepo, nyanding, nyadung, udu penganen.

Sedangkan indikator tumbuhan untuk tanah yang dianggap kurang subur seperti yang terdapat di tanah kering/gersang (tanaq megang) adalah terutama: katan balut.

Untuk yang terdapat di jenis tanah lainnya yang juga dianggap kurang adalah yang di Tanaq Aga, yang warnanya agak putih sedikit berpasir. Indikator tumbuhan di jenis tanah ini adalah: kayu tat, dulin, keletang, dan tekalet.

Sebagai perbandingan, Tabel 2 dibawah ini menampilkan nama tumbuhan/vegetasi sebagai indikator kesuburan lahan/tanah dari versi etnis Dayak Kenyah yang berada di Kampung Mahak Baru, Batu Majang dan Pampang yang pernah diteliti sebelum ini.

Tabel 2. Vegetasi tanda kesuburan tanah di Kampung Mahak Baru, Batu Majang dan Pampang

Kategori suksesi vegetasi	Mahak Baru	Batu Majang	Pampang
Hutan sekunder sangat muda (Bekan)	Mpung (<i>Blumea balsamifera</i>), ulem (NI), siit (NI), balang (<i>Lindera polyantha</i>), lebem (<i>Musa acuminata</i>), sawan (NI)	Mpung (<i>Blumea balsamifera</i>), lebem (<i>Musa acuminata</i>)	Mpung (<i>Blumea balsamifera</i>), ulem, udu mawen (NI), udu kere (NI)
Hutan sekunder muda (Jekau bu'et)	Karun (NI), lebem (NI), bine (<i>Maccaranga trichocarpa</i>), belebu (NI), sawan (NI), noh (NI), udu penganen (NI),	Kayu uwa (NI), belebu, sawan (NI), lebem (NI)	Benuaq (<i>Maccaranga triloba</i>), lendung kapan (NI), aka kelapat (NI)

Kategori suksesi vegetasi	Mahak Baru	Batu Majang	Pampang
	titeq (<i>Zingiberaceae</i>)		
Hutan sekunder tua (<i>jekau dadoq</i>)	Benuaq (<i>Maccaranga triloba</i>), karun, pela (NI), sanam pidek (NI), kayu sanam (NI), aka kelese (<i>Spatholobus ferugineus</i>), udip ampang, lengidan (NI), sep busan (NI),	Benuaq (<i>Maccaranga triloba</i>), adeu (<i>Elmerillia mollis</i>), kideu (<i>Hibiscus macrophyllus</i>), lebem (<i>Musa acuminata</i>)	Benuaq (<i>Maccaranga</i>), kidau (<i>Hibiscus macrophyllus</i>), kayu suang (NI), aka kedating(NI), aka kelese (<i>Spatholobus oblongifolius</i>), kayu uwa(NI), udip ampang(NI)
Hutan primer (<i>mpak</i>)	Tenak (<i>Shorea</i> spp), ampang (<i>Shorea</i> spp)	Tenak (<i>Shorea</i> spp), ampang (<i>Shorea</i> spp)	Tenak (<i>Shorea</i> spp), ampang (<i>Shorea</i> spp)

Sumber: Imang (2010) dan Imang (2020)

Indicator vegetation sebagai tanda kesuburan lahan

Kategori vegetasi	Umur (tahun)	Jenis vegetasi/spesies
Hutan sekunder sangat muda (<i>Bekan</i>)	<3	Mpung (<i>Blumea balsamifera</i>), ulem (NI), siit (NI), balang (<i>Lindera polyantha</i>), lebem (<i>Musa acuminata</i>), sawan (NI), udu mawen, ulem
Hutan sekunder muda (<i>Jekau bu'ef</i>)	4-6	Karun (NI), lebem (NI), bine (<i>Maccaranga trichocarpa</i>), belebu (NI), sawan (NI), noh (NI), udu penganen (NI), titeq (<i>Zingiberaceae</i>), kayu wa
Hutan sekunder tua (<i>jekau dadoq</i>)	>7	Benuaq (<i>Maccaranga triloba</i>), karun, pela (NI), sanam pidek (NI), kayu sanam (NI), aka kelese (<i>Spatholobus ferugineus</i>), udip ampang, lengidan (NI), sep busan (NI), kideu
Hutan primer (<i>mpak</i>)	Hutan primer	Tenak (<i>Shorea</i> spp), ampang (<i>Shorea</i> spp)



8

Sumber: photo survei lapangan tahun 2009-2022

2. Menebas

Bila topografi tanah/lahannya berlereng proses menebas biasanya selalu dimulai dari bagian bawah lereng atau bagian ladang dekat sungai (*mendaaq/cen bena*). Hal ini dilakukan agar kayu dan semak bekas tebasan mudah dibuang ke arah bawah lereng sehingga tidak mengganggu petani yang bekerja dan mengarah ke arah atas atau punggung gunung. Agar proses pengeringan lebih bagus, maka pada tahap menebas, semua semak dan tumbuhan setingkat tiang dan pancang (diameter <5 cm) biasanya ditebang dengan tunggul serendah mungkin agar nantinya tidak menjadi tempat pijakan / batuloncatan bagi hama padi misalnya tikus dan burung pipit.

3. Menebang

Menebang (*nevang /nepeng*) adalah tahapan pekerjaan yang paling berat jika ladang itu berasal dari hutan primer atau hutan sekunder tua (*sepitang ayaq / jekau dadoq*). Hal ini disebabkan diameter pohon yang besar dan juga kayunya keras sehingga memerlukan tenaga kaum pria untuk menebangnya. Sekarang ini, menebang hampir semuanya dilakukan dengan menggunakan chainsaw, baik milik sendiri ataupun menyewa. Pekerjaan menebang tidak sekedar hanya untuk merebahkan pohon, tetapi juga memiliki fungsi lain yaitu untuk menyiapkan tambahan volume nutrisi lebih banyak dalam tanah setelah biomassa bekas tebang dibakar menjadi pupuk dan juga membuka jalan sinar matahari untuk kebutuhan fotosintesis tanaman padi.

Oleh sebab itu, dalam hal ini ada rangkaian kearifan perlakuan tradisional tersendiri yang dilakukan oleh peladang pada waktu kegiatan menebang, yaitu:

- (1). Proses menebang juga dimulai dari arah bawah atau bagian dekat sungai atau dari arah lembah (*mendaaq/cen bena*). Hal ini dilakukan karena pada umumnya kayu condong ke arah bawah / kearah sungai sehingga proses menebang tidak

- terganggu dengan kayu yang sudah ditebang duluan.
- (2). Arah tebang diusahakan menuju arah lereng dengan cara mengatur takik bawah dan takik balik pada waktu menebang. Batang kayu diusahakan tidak saling menindih agar nantinya tidak akan dipakai oleh burung dan tikus sebagai tempat pijakan/batu loncatan sebagai hama pemakan padi.
 - (3). Diusahakan agar seluruh bagian ladang mendapatkan kayu yang rebah secara merata agar nanti setelah dibakar, kandungan nutrisi dari biomassa dapat tersebar merata.
 - (4). Tunggul kayu (*tunggul/tu'et*) dipangkas rendah agar nantinya tidak dipakai sebagai pijakan hama tikus atau burung untuk memakan padi setelah padi berbuah.
 - (5). Merapikan bekas tebang (*mepat/metoq*) dilakukan ketika kayu yang ditebang masih segar. Jika dilakukan setelah kayu sudah mengering maka daun-daun akan gugur dari ranting sehingga proses pengeringan tidak berjalan sempurna. Kayu yang sudah kering juga akan lebih keras sehingga lebih sulit dicincang.



Gambar 2. Kayu ditebang ke arah dalam ladang untuk mencegah kebakaran hutan sekitar

4. Mencincang (metoq)

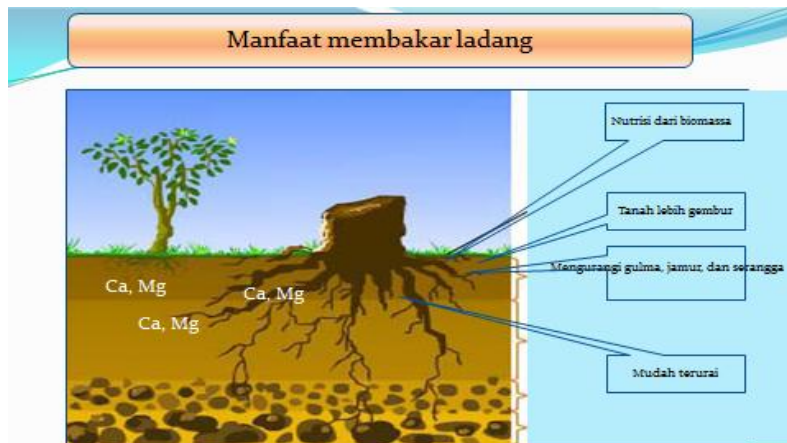
Dahan-dahan pohon yang baru ditebang perlu dipotong-potong menjadi bagian yang lebih pendek dan kecil. Hal ini dilakukan agar nanti proses pengeringan dapat berjalan dengan cepat. Jika tidak dipotong maka proses pengeringan lambat dan daun-daun akan gugur dari dahan yang menyebabkan proses pengeringan lambat. Jika metoq ini dilakukan dengan baik maka ladang akan terbakar dengan sempurna, dan bukti empiris di lapangan bahwa ladang yang terbakar dengan sempurna akan lebih subur. Hal ini karena banyaknya abu yang merupakan nutrisi bagi tanaman.

5. Membakar

Bagi peladang Dayak Bahau dan Kenyah yang sudah mempraktikkannya selama beberapa generasi, membakar ladang juga tidak hanya sebagai cara membersihkan lahan tetapi banyak manfaat lainnya bagi para petani ladang, yakni antara lain sebagai berikut:

- (1). Bisa membersihkan/mengilangkan tumbuhan pengganggu/gulma liar, jamur dan hama serangga yang tidak diinginkan.
- (2). Panas pembakaran merubah struktur tanah dan bekas bakaran bisa menggemburkan tanah sehingga mudah ditugal.
- (3). Meningkatkan kesuburan tanah, karena tambahan nutrisi yang berasal dari abu pembakaran.
- (4). Mengurangi keasaman tanah (abu bersifat alkalis sehingga dapat meningkatkan Ph tanah). Keasaman dan keracunan aluminium adalah masalah tanah di daerah tropis, sehingga peningkatan Ph tanah bisa mengatasinya.
- (5). Panas pada tanah membuat nutrisi yang tersimpan dalam tanah bertambah untuk pertumbuhan tanaman.

- (6). Proses pembakaran berperan sebagai sterilisasi tanah dan bisa menyebabkan pengurangan populasi mikroba, serangga dan gulma pengganggu tanaman.
- (7). Meningkatkan potensi pertukaran kation (exchangeable Cations) seperti Ca dan Mg yang diperlukan untuk kesuburan tanah.
- (8). Mengurangi biaya pengolahan tanah dan tanah kurang rentan terhadap erosi.



Gambar 3. Manfaat Pembakaran Lahan Ladang

Adapun proses membakar ladang yang biasa dipraktikkan oleh para peladang Dayak Bahau dan Kenyah sebagai berikut:

- (1). Tanda ladang siap untuk dibakar adalah daun-daun sudah mulai rontok dari ranting atau dahan-dahan kecil. Jika daun belum rontok menjadi rontokan daun kering (lireh / lide), berarti belum cukup kering untuk dibakar.
- (2). Khusus untuk ladang dari sepitang / bekan atau sekunder muda, membakar ladang tidak terlalu beresiko karena material yang terbakar tidak terlalu tebal.
- (3). Ranting-ranting sudah mengering dan kalau dibengkokkan akan bersifat lentur tetapi tidak

patah. Kalau patah, berarti sudah terlambat untuk membakar. Dalam bahasa Kenyah disebutkan “dalam sakit dan tepeta neng ilu”, artinya ranting masih lentur dan terasa sakit kalau melenting kena tubuh.

- (4). Waktu terbaik untuk membakar adalah jam 1-3 siang dengan alasan bahwa angin biasanya bergerak ke satu arah saja, tidak sering berganti arah. Jika sering berganti arah dapat membahayakan nyawa manusia yang membakar ladang.
- (5). Tempat menyulut api pertama kali menjadi pertimbangan penting bagi petani yang akan membakar ladang. Arahnya ada dua yaitu “sesuai arah angin” atau “berlawanan dengan arah angin”. Keduanya dapat digunakan tetapi pemilihan yang paling tepat didasarkan pada kondisi sekitar ladang, apakah ada hutan yang rentan terbakar atau properti lain misalnya ada pondok terdekat yang bisa dilalap api. Jika tidak ada kekhawatiran akan menyebar ke hutan sekitar, maka lokasi pertama menyulut api dapat digunakan yang “sesuai/mengikuti arah angin”. Konsekuensinya api akan sangat besar karena terjadi akumulasi kayu dan ranting yang terbakar. Cara kedua yaitu “berlawanan dengan arah angin” dimaksudkan agar api tidak terlalu besar. Di atas semuanya itu, pertimbangan pada waktu membakar adalah keselamatan para petani dan alternatif jalan untuk evakuasi.

6. Membersihkan sisa pembakaran

Membersihkan bekas pembakaran (ngekup/mekup) di ladang dilakukan jika ternyata proses pembakaran tidak berjalan sempurna. Jika ladang terbakar sempurna, maka proses mekup ini tidak perlu dilakukan. Fungsi mekup adalah untuk mempersiapkan lahan sehingga memudahkan tahapan pekerjaan selanjutnya yaitu: menugal, mengendalikan

gulma dan memanen. Jika proses pembakaran tidak sempurna dan mekup tidak dilakukan dengan baik, maka akan menyebabkan beberapa masalah sebagai berikut:

- (1). Dahan dan ranting yang malang-melintang akan mengganggu peladang dalam beraktivitas, mulai dari waktu menugal, membersihkan gulma (navau / mabeu) sampai pada tahapan panen (ngelunau / majeu).
- (2). Peladang juga belajar dari pengalaman bahwa jika banyak ranting dan batang malang-melintang akan menjadi sarana pijakan hama tikus dan burung untuk memakan padi sehingga akan banyak merugikan petani.
- (3). Mekup yang tidak baik dapat mengurangi biomassa yang masuk ke dalam tanah dalam bentuk abu karena masih berupa kayu keras yang belum terurai.

7. Menugal

Bagi para petani ladang khususnya petani ladang etnis Dayak Bahau dan Kenyah di Kabupaten Mahakam Ulu dan Kalimantan Timur, menugal merupakan suatu tahapan berladang yang dinilai sangat menyenangkan dan ditunggu-tunggu oleh hampir semua warga Kampung. Hal ini disebabkan karena ada beberapa aktivitas yang menyenangkan bahkan merupakan memori tersendiri bagi para peladang, antara lain karena dalam tahapan menugal ini, warga biasanya beramai-ramai dengan motivasi:

- (1). Masa menugal merupakan kesempatan bagi warga Kampung untuk bergotong royong / bekerjasama (mahap/paladau/senguyun) yang dapat menambah keakraban antar warga.
- (2). Pada waktu menugal, akan disediakan menu makanan dan minuman yang lebih istimewa dibandingkan dengan pada tahapan pekerjaan lainnya.

- (3). Bagi etnis Bahau, kegiatan menugal didahului oleh adat ngurang, yaitu sehari sebelum menugal menyiapkan makanan dan minuman yang nanti akan dinikmati bersama pada waktu menugal.



Gambar 4. Kegiatan Menugal dan Menikmati Hidangan Bersama di Ladang

- (4). Seorang Petinggi etnis Bahau menyatakan bahwa pada saat menugal dilakukan ritual Hudoq Ngawit. Hudoq Ngawit dilaksanakan antara September hingga November setiap tahunnya. Tujuannya agar padi yang ditanam memperoleh hasil panen melimpah yang membawa kesejahteraan dan kemakmuran masyarakat setempat. Setelah Hudoq Ngawit, dilaksanakan upacara Nebeq sebagai syarat untuk membuang sial, termasuk menghindarkan datangnya wabah penyakit. Dalam upacara Hudoq Ngawit, sebelum warga menanam padi, dilaksanakan syarat Ngaping Umaaq, dimana Tetua Adat kampung melakukan ritual khusus buang sial di siang hari. Malam harinya, warga menggelar tari tarian adat berpakaian khas Hudoq. Setelah menanam padi, para Tetua Adat menggelar rapat menentukan bulan yang baik untuk melaksanakan ritual Nebeq. Di hari yang sama dilaksanakan ritual Makaam Ular, melaksanakan adat Pihir, tarik tambang dengan rotan terpilin lalu dilarung ke sungai oleh Dayung Doh keturunan darah biru. Menurut kepercayaan dari leluhur, rotan terpilin yang sudah diupacarakan dengan

ritual Syarin Kono itu dapat berubah menjadi Lenggunaan (Dewa Naga / Pengatur Air / Pengendali Hujan dan Banjir). Menurut Petinggi Bibing, ritual seperti ini sudah dilaksanakan sejak 120 tahun silam.

- (5). Warga Kampung bahkan Pejabat Pemerintah dan Tamu Kampung dapat ikut serta menugal bersama walaupun tidak memiliki ladang. Tahapan menugal ini dapat dikembangkan sebagai objek wisata di kemudian hari. Oleh sebab itu perlu ada satu hamparan ladang yang cukup luas sekitar 10 ha sehingga pesta waktu menugal ini bisa lebih ramai.

Pada tahapan menugal ada beberapa kearifan lokal atau tradisi yang sudah biasa dilakukan dengan maksud agar produksi padi meningkat, tidak ada hama dan kelanjutan kegiatan di ladang dapat berjalan dengan lancar dan berhasil.

- (1). benih padi yang akan ditugal harus merupakan benih pilihan, sehingga perlu ada perlakuan khusus, mulai dari waktu memanen calon benih pada tahun sebelumnya dan bagaimana benih tersebut disimpan selama setahun. Benih padi yang akan ditugal sudah dipilih pada waktu memanen tahun sebelumnya. Calon benih ini biasanya dipilih dari malai padi yang terlihat paling bagus bentuk dan tampilannya misalnya malainya kuat, bulir padi terlihat kuning padat berisi dan tidak ada tanda-tanda hama penyakit pada padi tersebut (dalam bahasa Kenyah disebut: batuk padei ngelambang). Padi calon benih ini dipanen/dipetik pada sore hari ketika sudah kering dipohon, dan hanya dikeringkan sebentar saja di tempat menjemur padi (dalam bahasa Kenyah disebut: taing). Padi calon benih ini tidak dirontokkan, cukup disimpan dalam bentuk malai yang utuh (dalam bahasa Kenyah disebut: ulo). Hal ini juga dimaksudkan untuk membedakan “calon benih” dengan padi lainnya yang akan digiling atau

dikonsumsi. Benih ini disimpan dalam karung tersendiri untuk menghindari salah ambil (dalam bahasa Kenyah disebut:: saruq) pada waktu mau menggiling padi.

- (2). Penentuan tanggal/hari menugal dilakukan dengan cermat, berdasarkan pengetahuan tradisional yang mereka miliki, dengan deskripsi singkat sebagai berikut: (a) Bagi petani ladang etnis Bahau, penentuan hari pertama untuk menugal menggunakan patokan bentuk “bulan di langit”. Penentuan hari baik untuk menugal harus dilakukan oleh seseorang yang berasal dari kalangan “Hipui”. Warga biasa tidak boleh menugal sembarangan kalau belum ditentukan dan didahului oleh keluarga “Hipui”. Bagi etnis Bahau, menugal biasanya dilakukan pada awal bulan September pada masa yang disebut “bulan tubu” Beberapa hari baik untuk menugal antara lain “empat malam bulan”, “sepuluh malam bulan”. Bagi etnis Bahau selain mereka yang berdiam di kampung Matalibaq, kegiatan menugal didahului dengan “Hudoq” yang pada intinya bertujuan agar padi tumbuh subur, tidak ada hama dan penyakit dan warga Kampung bekerja dengan aman. Bagi etnis Bahau yang berdiam di kampung Matalibaq, “Hudoq” dilakukan pada musim panen. Sebelum menugal dilakukan ritual “ngaping” yaitu pembersihan Kampung dengan cara membaca doa atau “baraaq dayung” pada setiap rumah dan dilakukan oleh pihak Petugas Adat Kampung; (b) bagi petani ladang etnis Dayak Kenyah, penentuan tanggal/hari pertama untuk mulai menugal hari pertama lebih sederhana dibandingkan dengan pada etnis Bahau. Peladang Dayak Kenyah tidak memakai tanda “bulan di atas/bulan langit” untuk mulai menugal, tetapi memakai tanggal pada kalender yaitu sekitar tanggal 17 Agustus. Hari pertama yang baik untuk menugal ditentukan berdasarkan perjalanan matahari atau “ asat tau”

yaitu pada posisi “seleng Punan” sampai pada posisi matahari “petatip”. Posisi matahari “lekoq sang” juga bagus untuk menugal, sedangkan posisi “mujun upit” tidak baik untuk menugal karena nanti akan banyak hama burung (upit). Kebiasaan ini sudah dipakai sejak berada di Apau Kayan, dan kelas sosial dalam masyarakat atau kasta (paren, kelayan, panyen) tidak berpengaruh dalam menentukan hari pertama untuk menugal.

- (3). ada sejumlah aturan dan pantangan yang harus diperhatikan dan dijalankan, diantaranya adalah adanya aturan dan pantangan pada waktu menugal, yakni antara lain yang berlaku di kalangan etnis Kenyah: (1) padi ketan (padei ubek) harus ditanam di bagian hilir atau bagian bawah lereng (bena) ladang, sedang padi lainnya di bagian atas lereng atau bagian hulu ladang. Jika aturan ini dilanggar orang percaya akan menyebabkan petaka (parip) pada pemilik ladang; (2) jika sudah mulai menugal, harus terus menerus dikerjakan dan tidak boleh berhenti apalagi pada waktu baru saja mulai menugal. Jika dilanggar dapat menghambat/memperlambat kegiatan menugal ini seterusnya atau mengalami selimbit; (3) setelah selesai menugal, ada kebiasaan bagi para penugal untuk melemparkan kayu tugal pada salah satu pokok kayu yang ada di ladang (pesioq), dengan kepercayaan sebagai syarat doa/harapan agar padi tidak mendapat gangguan dari hama-hama padi; (4) di kalangan etnis Kenyah dan juga etnis Bahau ada beberapa jenis padi yang biasa ditanam dan lebih disukai peladang karena memiliki beberapa kelebihan/keunggulan, diantaranya: pare belaaq/padei bala (harum), padi samarinda (abung putih), padi timur, berbagai variasi padi ketan, dll. Juga ada beberapa jenis padi yang butirnya sulit untuk dirontokkan (miik) dan gatal (kesuk) pada waktu dipanen, sehingga kurang disenangi dan jarang ditanam oleh para petani.

8. Perawatan

Gulma adalah tumbuhan yang tidak diinginkan dan biasanya tumbuh dengan sendirinya tanpa ditanam. Pembakaran yang baik merupakan langkah awal untuk mengurangi pertumbuhan gulma karena benih gulma dalam tanah sudah terbakar atau mati karena panas pembakaran. Bila masih ada gulma dan rerumputan yang tumbuh maka para petani ladang membersihkannya pada masa merumput (navau/mabau), dengan menggunakan alat merumput (pelukaq/u'ing/blu'ing).

Petani memilih varietas tanaman lokal yang secara alami lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit tertentu yang umum di wilayah mereka. Varietas lokal ini seringkali telah beradaptasi selama bertahun-tahun dengan kondisi lingkungan setempat dan memiliki mekanisme pertahanan alami.

Petani menerapkan sistem pergiliran tanaman yang telah diwariskan dari generasi ke generasi. Pergiliran ini tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah, tetapi juga memutus siklus hidup hama dan penyakit tertentu.

9. Pengendalian hama dan gulma

Hama yang paling banyak menyerang padi ladang di lokasi kajian adalah belalang, tikus, burung, monyet, ulat tanah, tikus, dan hama wereng. Hama babi relatif tidak menjadi masalah karena pemburu babi banyak di lokasi kegiatan. Cara-cara tradisional yang pernah dilakukan dan yang direkomendasikan untuk mengendalikan hama sebagai berikut:

- (1). Menugal secara serentak, yang sebetulnya sudah merupakan cara untuk mengurangi kerugian akibat serangan hama. Jika menugal tidak serentak, maka hama akan menyerang padi secara bergantian sesuai dengan umur padi. Dalam hal ini, acara Ngurang pada etnis Bahau dan Senguyun nungan pada etnis Dayak Kenyah juga sudah

- merupakan bagian dari cara tradisional mengurangi kerugian akibat serangan hama.
- (2). Untuk hama monyet biasanya dipakai perangkap (tepap), ada juga yang menggunakan senapan angin, atau menggunakan racun Timex. Ladang yang lokasinya berbatasan dengan hutan dan tidak bertetangga dengan ladang lainnya sangat rentan terhadap hama monyet. Oleh sebab itulah petani ladang dianjurkan membuka ladang dalam satu hamparan agar dapat saling menjaga.
 - (3). Hama wereng yang merupakan salah satu hama yang cukup merugikan jika terjadi ledakan hama dalam tahun tertentu dapat dikendalikan dengan cara membakar bahan-bahan yang berbau tajam dan pedas di ladang seperti: daun sembung (uroq bung/ureu bung), atau sekarang ada juga yang menggunakan karet atau ban bekas.
 - (4). Bagi peladang di Matalibaq, digunakan Hara Bambu Telivaq yaitu ataq livah (semacam ramuan yang diaduk dalam gong) yang diisi dengan campuran arang, telur, abu dapur, dan air, yang kemudian diberi mantra oleh Petugas Adat (Dayung). Air campuran tersebut dimasukkan dalam bambu, dibagi pada warga dan kemudian dipercik di ladang masing-masing. Dayung yang melakukan syarat ini biasanya adalah Dayung Doh (Petugas Adat Perempuan). Kebiasaan menggunakant Ataq livah/Telang Liva ini untuk syarat pengendalian hama ini juga dilakukan oleh semua kelompok etnis Bahau lainnya di Mahakam Ulu dengan berbagai variasi campuran bahan.

10. Memupuk

Selama ini kesuburan padi sangat tergantung pada humus yang dihasilkan pada waktu membakar. Jika pembakaran sempurna, maka humus dari biomassa daun dan kayu serta ranting akan menyuplai nutrisi yang cukup untuk tanaman padi. Oleh sebab itu, panjangnya masa bero/bera (pemulihan lahan)

juga berperan penting pada kesuburan tanah. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Imang (2010), diketahui bahwa tanah yang berasal dari hutan primer, sekunder tua dan bekan (bekas ladang satu tahun) memiliki produktivitas hampir sama. Hal ini disebabkan karena bekas ladang dari hutan primer masih cukup subur untuk dibuka kembali pada tahun berikutnya karena batang kayu, dahan yang besar mulai terdekomposisi membentuk humus yang berguna untuk pertumbuhan padi.

11. Menuai atau panen

Kualitas benih padi memegang peranan yang sangat penting dalam mempertahankan bahkan meningkatkan produktivitas padi. Oleh sebab itu, perlu ada perlakuan khusus terhadap padi yang akan dijadikan benih, yakni sebagai berikut:

- (1). Tanda-tanda malai/bulir padi yang baik untuk dijadikan benih adalah bahwa padi tersebut sudah pada tingkat kematangan ngelambang batuk yaitu tangkai padi berwarna kuning coklat tetapi tidak patah, bulir padi terlihat padat, tidak ada tanda serangan penyakit atau jamur pada padi tersebut.
- (2). Padi yang akan dipanen untuk dijadikan benih dilakukan dengan dua cara yaitu: (1) memilih secara acak padi yang memenuhi indikator seperti disebutkan di atas; (2) menentukan satu petak (ubinan) yang memiliki padi yang terbaik, kemudian dipanen untuk dijadikan benih.
- (3). Padi dipanen pada saat hari panas sekitar jam 1-3, dan padi tidak dirontokkan (dibiarkan utuh dengan malainya), serta dijemur sebentar saja.
- (4). Setelah dijemur, padi tersebut tidak langsung disimpan dalam karung, tetapi didinginkan dulu beberapa saat, setelah itu baru dimasukkan dalam karung. Hal ini dilakukan karena bila langsung dimasukkan dalam karung setelah dijemur, maka padi tersebut akan tetap panas yang dapat mengakibatkan benih menjadi kering dan rusak.

- (5). Benih disimpan di lumbung atau di tempat khusus yang tidak terlalu lembab dan juga tidak kena sinar matahari langsung. Intinya, suhu penyimpanan diupayakan sama dengan suhu ruangan agar benih tidak kering dan juga tidak berjamur atau busuk. Sebagai referensi pembanding, Imang (2019) menyatakan bahwa praktek semacam ini juga dilakukan oleh suku Punan Basap di Kutai Timur yang biasanya menyimpan benih dalam kotak kayu atau kotak dari kulit kayu agar suhu dan kelembabannya tetap terjaga.
- (6). Pada saat benih tersebut akan ditugal pada tahun berikutnya, maka benih dirontokkan (miik) kemudian dijemur sebentar dan ditampi untuk membuang benih yang kosong atau kering. Sebagai catatan tambahan, petani ladang di Mahakam Ulu belum melakukan perendaman benih dalam air garam sebelum ditugal untuk menyeleksi benih yang betul-betul bagus. Hal ini perlu menjadi perhatian nantinya agar benih yang ditugal betul-betul bagus sehingga produktivitas bisa meningkat.

D. Stigma negative terhadap sistem Perladangan

Stigma negatif berakar pada pandangan yang merendahkan, meremehkan, atau menganggap rendah suatu kelompok atau karakteristik tertentu. Pandangan ini sering kali didasarkan pada informasi yang salah, generalisasi yang berlebihan, atau stereotip yang tidak akurat. Stigma negatif tidak didasarkan pada fakta atau bukti yang rasional, hanya bersifat prasangka dan tidak mempertimbangkan perbedaan individu dalam kelompok yang distigmatisasi.

Sesungguhnya banyak stigma negative terhadap praktik perladangan, namun hanya satu saja yang dideskripsikan di sini. Ladang berpindah seringkali distigmatisasi sebagai praktik pertanian yang merusak lingkungan. Kebakaran hutan oleh aktivitas

perladangan sering dianggap sebagai penyebab utama kabut asap dan hilangnya keanekaragaman hayati. Selain itu, ladang berpindah juga dituduh sebagai pemicu degradasi lahan dan penyebab kebakaran hutan dan lahan.

Permasalahan utama justeru muncul ketika ladang berpindah juga dilakukan oleh oknum dari luar masyarakat adat secara tidak terkendali, tanpa memperhatikan aturan adat dan prinsip-prinsip konservasi. Hal ini disebabkan oleh motif penguasaan lahan yang luas, tekanan ekonomi, meningkatnya populasi, dan kurangnya akses terhadap lahan pertanian yang memadai. Selain itu, kebijakan pemerintah yang kurang mendukung dan kurangnya pemahaman tentang kearifan lokal juga turut memperparah masalah ini

Hasil penelitian menemukan bahwa Stigma negatif tersebut tidak sepenuhnya benar. Dampak ladang berpindah terhadap lingkungan sangat bervariasi, tergantung pada siapa yang melakukan perladangan apakah masyarakat adat atau masyarakat dari luar, cara atau praktik yang diterapkan, kondisi lingkungan, dan tekanan populasi. Ladang berpindah yang dikelola dengan baik dan mengikuti prinsip-prinsip kearifan lokal dapat menjadi sistem pertanian yang berkelanjutan.

Salah satu stigma negatif terhadap system perladangan yang perlu diklarifikasi adalah adanya tuduhan bahwa membakar ladang menyebabkan kebakaran hutan. Dalam praktik perladangan di lapangan, untuk mencegah terjadinya kebakaran hutan sekitar ladang, petani sudah memiliki kearifan local mencegah kebakaran dengan cara mengatur arah tebaran ke arah dalam ladang agar tidak tersedia material yang mudah terbakar di dalam hutan, petani sudah membuat sekat bakar, bahkan waktu untuk membakar ladang sudah diatur sesuai arah angin yang sudah dipelajari. Membakar ladang sendiri mempunyai banyak manfaat sangat esensial yaitu untuk

menyuburkan tanah melalui abu hasil pembakaran, menekan tumbuhnya gulma dan hama serangga dari dalam tanah, mengurangi tingkat keasaman tanah, membuat tanah lebih gembur.

Komunitas adat Dayak Kenyah juga memiliki kepedulian tinggi dalam menjaga kelestarian hutan, salah satunya adalah tana' ulen (customary protected forest) yaitu lahan hutan yang diproteksi dengan aturan dimana lahan ini tidak boleh dibuka untuk berladang, dan kayu serta flora dan fauna di dalamnya tidak boleh diganggu. Beberapa contoh tana'ulen yang merupakan bukti etnis Dayak sangat konsisten menjaga hutan adalah tana' ulen di Desa Setulang dan Desa Sungai Barang, Desa Mahak Baru Kabupaten Malinau, tanaq ulen di Kampung Batu Majang Kabupaten Mahakam Ulu. Etnis Dayak memahami bahwa hutan memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem, menyediakan air bersih, dan mencegah erosi. Oleh karena itu, etnis Dayak tidak menebang hutan secara sembarangan, melainkan hanya membuka lahan yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pangan.

Dalam kaitannya dengan pelestarian seni budaya dan adat istiadat maupun olahraga tradisional, system perladangan adalah bagian sangat erat tidak terpisahkan. Setiap tahapan berladang mulai dari pembukaan lahan, menebas, menebang, membakar, mengendalikan hama memiliki event budaya dan olahraga tradisional masing-masing. Secara khusus, tahapan menugal dan memanen padi adalah dua tahapan berladang yang sangat ditunggu-tunggu peladang etnis Dayak Kenyah dan etnis Bahau. Kedua tahapan berladang tersebut selalu ditandai dengan budaya tarian Hudoq dari etnis Bahau, maupun budaya lainnya dari etnis Dayak Kenyah.

Kesimpulannya, sistem ladang dapat memberi berbagai manfaat sekaligus yaitu melestarikan hutan dan lingkungan, memenuhi kebutuhan pangan keluarga dan melestarikan seni budaya local, asalkan

sesuai dengan kearifan local. Secara khusus kami minta pada pemerintah untuk tidak mengkriminalkan petani yang membakar ladang karena sesungguhnya ini adalah bagian dari budaya dan juga bagian dari pengetahuan lokal dalam berladang.

Oleh karena itu, penting bagi kita untuk melihat ladang berpindah secara komprehensif dan tidak hanya dari satu sudut pandang. Kita perlu menghargai kearifan lokal yang terkandung di dalamnya, sekaligus mencari solusi untuk mengatasi dampak negatif yang mungkin timbul, kita juga dapat menjadikan ladang sebagai sistem pertanian yang berkelanjutan, memberikan manfaat ganda bagi masyarakat dan lingkungan.



DAFTAR PUSTAKA

- Anau, Njau (2003). A History of Kenyah Leppo' Ke and Nyibun in Pujungan Subdistrict. Eds. Christina Eghenter, Bernard Sellato, G. Simon Devung. Social Science Research and Conservation Management in the Interior of Borneo. Unravelling past and present interaction of people and forests. CIFOR, Bogor, pp 153-174.
- Colfer, C., Peluso, N., and Chung, C.S. 1997. Beyond Slash and Burn. Building on Indigenous Management of Borneo Tropical Rainforest. The N.Y. Botanical Garden, New York, 236 pp.
- Coomans, M. 1987. Manusia Daya: Dahulu, Sekarang dan Masa Depan (The Daya people: In the Past, Present and Future), Gramedia, Jakarta, 215 pp.
- De Jong, W., van Noordwijk, M., Sirait, M., Liswanti, N., and Suyanto. 2001b. Farming Secondary Forest in Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 13(4), pp 705-726.
- Devung, G. Simon. 1999. Pranata Tradisional serta Praktek Pemanfaatan dan Pengelolaan Sumberdaya Hutan oleh Masyarakat Kenyah di Wilayah S. Bahau (Traditional Patterns and Forest Resources Management by Kenyah Ethnic in Bahau River). PHPA, the Ford Foundation and WWF, Jakarta.
- Dove, M., and D. Kammen, 1997. The Epistemology of Sustainable Resource Use: Managing Forest Products, Swiddens, and High-Yielding Variety Crops. *Human Organization*, vol 56, n 1 (Spring): 91-101.
- Eghenter, Christina. 1999. Sejarah dan Pola Perpindahan di kalangan Orang Kayan dan Kenyah dari Apo Kayan. KEBUDAYAAN DAN PELESTARIAN ALAM. Penelitian Interdisipliner di Pedalaman Kalimantan. Eds. Christina Eghenter

- dan Bernard Sellato. PHPA, The Ford Foundation, WWF. Pp 358-375.
- Imang N., Gani, A., Yokota, Y., Saito, T., and Mochizuki, A. (2004b) Forest management and Community Participation in Mata Libaq. In: Nanang, M., and Devung, G.S. (Eds.), Indonesia Country Reports: Local People in the Forest Management and the Politics of Participation. IGES, Kanagawa, Japan, pp. 29-46.
- Imang, N., Inoue, M., and Sardjono, M.A. 2009. Adaptation of hunting activities to environmental changes: a comparison between the Kenyah and the Punan in Malinau District, East Kalimantan Indonesia. International Journal of Socio-Humanities, University of Mulawarman Samarinda, Vol 1(3)
- Imang, Ndan. 2004. From Shifting Cultivation Towards Daleh Cluster: A case from the Bahau Dayak people. LIPI, Jakarta.
- INOUE, Makoto and Lahjie, A.M. 1990. Dynamics of Swidden Agriculture in East Kalimantan. Agroforestry Systems 12, pp 269-284.
- INOUE, Makoto. 2000. Mechanism of Changes in the Kenyah's Swidden System: Explanation in terms of Agricultural Intensification Theory. Ecological Studies 140. Eds: E. Guhardja, M. Fatawi, M. Sutisna, T. Mori and S. Ohta. Rainforest Ecosystems of East Kalimantan. Springer Tokyo, pp 167-184.
- INOUE, M., 1998. Evaluation of Local Resource Management Systems as the Premise for Introducing Participatory Forest Management. Journal of Forest Economics, 44 (33) pp 15-22.
- Lahang, L., Laway, D., Uda, K., Ingan, Y., Ikin, R. 2000. Sejarah Perpindahan dan Penyebaran Dayak Kenyah Lepoq Bakung di Kaltim (History of Migration and the Spreading Sub-ethnic of Bakung in East Kalimantan). Tanjung Selor. 2000. 51 pp.

- Lawai, Liman. 2003. A History of the Kenyah Lepo' Tau in Kayan Hulu Subdistrict, Apau Kayan. Eds. Christina Eghenter, Bernard Sellato, G. Simon Devung. Social Science Research and Conservation Management in the Interior of Borneo. Unravelling past and present interaction of people and forests. CIFOR, Bogor, pp 175-198.
- Ngindra, Fredrik. 1999. Pemenuhan Kebutuhan Makanan pada Suku Dayak Kenyah Lepoq Bakung (Subsistence Fulfilment of Kenyah Bakung). Samarinda. 49 pp
- Ostrom, E. (2001) Reformulating the Commons, Protecting the Commons. In: Burger, J., Ostrom, E., Norgaard, R.B., Policansky, D., and Goldstein, B.D. (Eds.), Framework for Resource Management in the Americas. Island Press, Washington.
- Sardjono, M.A. (2004) Mosaic Sosiologis Kehutanan: Masyarakat Lokal, Politik dan Kelestarian Sumberdaya (Sociological Mosaics of Forestry: Local Community, Politics and Resource Sustainability). Center for Social Forestry (CSF) - Unmul, MIALS, the Ford Foundation. Jakarta, 300 pp.
- Sardjono, M. A. 2007. Agroforestry: An Appropriate Technology of Social Forestry to Revitalize Local Wisdoms towards Community Empowerment in Indonesia. Faculty of Forestry/Center for Social Forestry, Mulawarman University. Samarinda. 16 pp.
- Sindju, Herculanus Bahari. 2003. Making a Swidden: Social and Technological Aspects of Lepo' Ke Agricultural Practice. Eds. Christina Eghenter, Bernard Sellato, G. Simon Devung. Social Science Research and Conservation Management in the Interior of Borneo. Unravelling past and present interaction of people and forests. CIFOR, Bogor, pp 50-63.
- Soriente, Antoinete. (2003) A Classification of Kenyah Variants in Sarawak and Kalimantan. Ph.D

Dissertation at University of Kebangsaan
Malaysia, Bangi. 400 p

Ukur, F. (1991) Kebudayaan Dayak. Suatu Tinjauan
Umum tentang Ciri-Ciri Pokok Kebudayaan
Suku-Suku Asli di Kalimantan. Makalah pada
Seminar Nasional Pengembangan Perekonomian
Rakyat Kalimantan. Pontianak.

Uluk, A., Sudana, M., and Wollenberg, L. 2000.
Ketergantungan Masyarakat Dayak terhadap
Hutan di Sekitar Taman Nasional Kayan
Mentarang (Dependency of the Kenyah people
surrounding Kayan Mentarang National Park to
forest). CIFOR, Bogor, 82pp.



UCAPAN TERIMA KASIH

Prosesi Pengukuhan Guru Besar/Profesor ini adalah peristiwa yang sangat istimewa karena telah mencapai posisi tertinggi pada jabatan Fungsional di Perguruan Tinggi. Capaian ini tentu berkat dukungan doa dan kerjasama dari banyak pihak.

Oleh sebab itu, perkenan saya menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besar kepada yang terhormat:

1. Rektor Universitas Mulawarman Prof. Dr. Abdunur yang selalu memberikan dorongan semangat dan solusi terbaik selama proses pengusulan Guru Besar sehingga proses dapat berjalan lancar.
2. Ketua Senat Prof. Amir Masruhim beserta seluruh Anggota Senat yang telah memberikan rekomendasi kepada saya untuk pengajuan sebagai Guru Besar.
3. Prof. Haviluddin, Sekretaris Senat yang sudah membantu penyiapan dokumen khususnya korespondensi Jurnal sehingga syarat khusus untuk pengajuan dokumen Guru Besar dapat terpenuhi.
4. Dekan Fakultas Pertanian Prof. Rusdiansyah dan Wakil Dekan 1 Prof. Bernatal Saragih yang sudah banyak membantu pada tahap awal penyiapan dokumen Guru Besar.
5. Bapak/Ibu di Bagian Kepegawaian Unmul yaitu Pak Agus Supriadi, Pak Sutikno, Pak Bambang dan semua pihak yang sudah banyak sekali membantu persiapan dan pengajuan dokumen Guru Besar.
6. Mbak Lusi dari Faperta yang banyak membantu penyiapan dokumen dari awal sampai pada tahap pengusulan Guru Besar.
7. Kedua orangtua terkasih yang bekerja sebagai petani ladang yang memberikan saya inspirasi untuk mengkaji topik ini sehingga dapat dijadikan

- sebagai syarat khusus dalam pengajuan Guru besar.
8. Dr. T.M. Sinaga dan Ibu Edny Sinaga yang sudah mengasuh saya sejak SLTP sampai di Perguruan Tinggi.
 9. Prof. Dr. Makoto INOUE sebagai Host dan Promotor untuk studi Program Doktor di Universitas Tokyo, Jepang.
 10. Keluarga tercinta, Isteri Surya Eflyn yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat secara khusus pada saat pengusulan sebagai Guru Besar beberapa kali ditolak, doa Isteri sungguh diberkati sehingga dapat mencapai gelar Guru Besar. Anak-anak tersayang Christian Immanuel Ndan, Olivia Linda Aren Narita, Grace Alicia Putri, dimana kehadiran kalian memberikan kekuatan dalam melewati saat-saat yang sulit dalam pengusulan Guru Besar.
 11. Semua pihak yang sudah banyak berkontribusi dan tidak sempat saya sebutkan satu-persatu. Kiranya Tuhan memberkati kita semua dengan kelimpahan.

CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Ndan Imang, M.P., Ph.D.
NIP : 1964071519900310005
NIDN : 0015076408
Tempat, Tanggal
Lahir : Bulungan, 15 Juli 1964
Agama : Kristen
Email : imangndan15@gmail.com
No HP : 08125890596
Fakultas : Pertanian
Pangkat, Gol. : Pembina, IV/A
Jabfung, TMT : 1 Desember 2024
TMT Golongan : 1 April 2010
ID SINTA : 6153677
ID SCOPUS : 8289697200

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1), Jurusan Sosial Ekonomi Pertanian, Universitas Mulawarman (1989)
2. Magister (S2), Ilmu Kehutanan, Magister Ilmu kehutanan Universitas Mulawarman (2003)
3. Doktor (S3), *Graduate School of Agriculture and Life Sciences, The University of Tokyo, Japan.*

RIWAYAT PENELITIAN

1. Ndan Imang, Rujehan, Nella Naomi. 2018. Assessment of daleh swidden agriculture as an innovative alternative to conventional swidden under conditions of external pressure on local forest management in Kalimantan, Indonesia. BIODIVERSITAS Volume 19, Number 3, May 2018 Pages: 840-848
2. Ndan Imang. 2020. Adoption level of indigenous communities on agricultural technology in East

- Kalimantan, Indonesia: Problem and adaptive solutions. BIODIVERSITAS Volume 21, Number 3, March 2020 Pages: 1160-1164
3. Makoto Inoue, Daisuke Terauchi, Koji Fujii, Kazuki Tsunoda, Noriko Okubo, Yukari Takamura, Herman Hidayat, Ndan Imang, Martinus Nanang, Peter Voo & Tapan Kumar Nath. 2021. Understanding Local Peoples' Participation as "Means" and "Ends" in Protected Areas Management: A Qualitative Study in the Heart of Borneo. *Journal of Sustainable Forestry*. <https://doi.org/10.1080/10549811.2021.1935278>
 4. Ndan Imang, Nella Naomi. 2020. Conceptualization of Traditional Knowledge for Adoptive and Sustainable Agriculture by the Indigenous Basap Dayak, East Kalimantan, Indonesia. *IJHSS Vol 8 Issue 9*.
 5. Ndan Imang, Makoto INOUE, M.A. Sardjono. 2009.. Importance of Boundaries in Customary Resource Management under Decentralized Policies: Case Study in Indigenous Kenyah Dayak, East Kalimantan, Indonesia. *Journal of Forest Economics Vol.55 No.3 (2009)*

RIWAYAT JABATAN

1. Kepala UPT. Center for Social Forestry (CSF) Unmul (2106-2019)
2. Kepala Laboratorium Sosial Ekonomi Pertanian
3. Direktur Pascasarjana Universitas Mulawarman (2022-2026)

RIWAYAT ORGANISASI

1. Persekutuan Dayak Kalimantan Timur/PDKT (Koordinator Bidang Pendidikan)
2. Lembaga Adat Dayak Kenyah Kalimantan Timur/LADKKT (Dewan Pengawas)
3. Perhimpunan Ekonomi Pertanian Indonesia (PERHEPI)

4. Perkumpulan Tenaga Ahli Lingkungan Indonesia (P-TALI)





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Hasbi Sjamsir, M.Hum.

INOVASI DALAM PENGELOLAAN PAUD:
MEWUJUDKAN PENDIDIKAN BERMUTU DAN
BERDAMPAK UNTUK AUD

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Hasbi Sjamsir, M.Hum.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan	4
B. Pentingnya Pendidikan Anak Usia Dini Sebagai Fondasi Perkembangan Anak	8
C. Inovasi Dalam Pembelajaran Dan Pengelolaan Paud Berkualitas	11
1. Kurikulum Merdeka dalam Konteks PAUD	12
2. Pendekatan <i>Deep Learning</i> untuk Anak Usia Dini	12
3. PAUD Holistik Integratif Menuju PAUD Berkualitas	16
4. STEAM (Sains, Teknologi, Rekayasa, Seni, dan Matematika)	17
5. Pembelajaran Berbasis Proyek (PBJ)	18
6. Integrasi <i>TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge)</i>	18
7. <i>Loose Parts</i>	18
8. <i>Mix Marketing Education</i> dan Strategi 7P	19
9. Keterlibatan Orang Tua dan Masyarakat	20
10. Menciptakan AUD yang Kreatif, Berpikir Kritis, dan Komunikatif	20
11. Implikasi Inovasi dalam Pendidikan Anak Usia Dini	20
12. Tantangan dan Solusi dalam Implementasi Inovasi	21
D. Pengelolaan dan Pembelajaran PAUD Inovatif Berkualitas	21
E. Kesimpulan	23
F. Lampiran Foto-Foto Kegiatan Pengelolaan Dan Pembelajaran Paud Inovatif	25
DAFTAR PUSTAKA	29
UCAPAN TERIMA KASIH	32
CURRICULUM VITAE	34

SINOPSIS

Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) memainkan peran penting dalam mendukung perkembangan anak, terutama selama periode emas antara usia 0 hingga 8 tahun. Pada tahap ini, anak mengalami kemajuan signifikan dalam berbagai aspek, termasuk perkembangan kognitif, sosial, dan emosional. Pengalaman belajar yang positif sangat diperlukan untuk membentuk karakter dan kemampuan dasar anak, sehingga penting untuk memastikan bahwa lembaga PAUD menyediakan pendidikan berkualitas. Namun, pengelolaan PAUD saat ini menghadapi berbagai tantangan, terutama di era digital dan globalisasi. Anak-anak membutuhkan pendidikan yang tidak hanya informatif, tetapi juga inovatif dan menyenangkan. Metode pembelajaran tradisional sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan anak yang terus berkembang, sehingga inovasi dalam metode dan pengelolaan pembelajaran menjadi sangat penting.

Data menunjukkan bahwa anak-anak yang mengikuti PAUD memiliki tingkat kesiapan yang lebih baik untuk memasuki sekolah. Sekitar 67% dari mereka siap untuk masuk taman kanak-kanak, sedangkan 37% yang tidak mengikuti PAUD cenderung kesulitan dalam transisi ke sekolah dasar. Hal ini menyoroti betapa pentingnya pengalaman belajar awal dalam mempersiapkan keterampilan yang diperlukan untuk beradaptasi di lingkungan baru.

Selain itu, komitmen terhadap pendidikan lebih kuat di kalangan anak-anak yang mengikuti PAUD. Sekitar 61% dari mereka menunjukkan tingkat komitmen yang lebih tinggi terhadap pendidikan pada usia 14 tahun, dibandingkan dengan 39% yang tidak mengikuti PAUD. Tingkat kelulusan di sekolah menengah pun lebih tinggi di antara anak-anak yang berpartisipasi dalam PAUD, dengan 75% lulusan dibandingkan 67% yang tidak.

Pengelolaan PAUD juga berkontribusi pada pengurangan risiko perilaku kriminal di masa depan. Hanya 36% anak yang mengikuti PAUD cenderung terlibat dalam perilaku melanggar aturan, sementara 57% dari mereka yang tidak mengikuti PAUD terlibat dalam pelanggaran hukum. Ini menunjukkan bahwa akses ke pendidikan dini dapat memberikan dampak positif yang signifikan dalam perkembangan sosial dan emosional anak (Zero to Three, 2023).

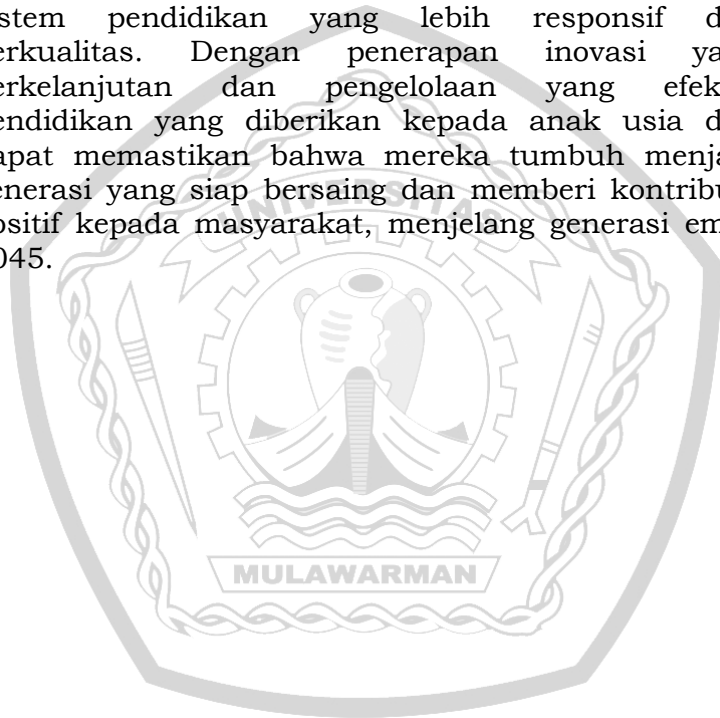
Salah satu inovasi terbaru adalah Kurikulum Merdeka Belajar, yang memberikan fleksibilitas bagi pendidik untuk menyesuaikan metode dan materi pembelajaran sesuai kebutuhan anak. Pendekatan seperti deep learning dan pembelajaran berbasis proyek (PBL) mendorong kolaborasi dan pemecahan masalah, sementara penggunaan loose parts dapat merangsang kreativitas anak. Dengan pendekatan ini, PAUD tidak hanya memberikan pendidikan, tetapi juga membentuk karakter anak yang siap menghadapi tantangan masa depan.

Integrasi berbagai inovasi dalam pengelolaan PAUD diharapkan dapat menciptakan lingkungan belajar yang menyenangkan dan mendidik. Dengan memanfaatkan Kurikulum Merdeka, penerapan deep learning, PBL, dan loose parts, serta melibatkan orang tua dan masyarakat, kita dapat membangun sistem pendidikan yang lebih responsif terhadap kebutuhan anak. Peran pemerintah juga sangat penting dalam mendukung inovasi melalui kebijakan yang memfasilitasi pengembangan kurikulum yang fleksibel dan pelatihan untuk guru.

Program-program yang melibatkan masyarakat, seperti lokakarya untuk orang tua, dapat meningkatkan pemahaman tentang pentingnya pendidikan anak usia dini. Dengan melibatkan masyarakat, lembaga PAUD dapat menciptakan jaringan dukungan yang lebih luas, yang akan meningkatkan kualitas pendidikan.

Investasi dalam PAUD sangat penting untuk mempersiapkan generasi yang tidak hanya cerdas tetapi juga memiliki karakter yang baik. Pendidikan yang baik di usia dini berdampak jangka panjang, membantu anak-anak mencapai kemampuan akademis yang lebih baik dan keterampilan sosial yang lebih kuat saat memasuki sekolah dasar.

Melalui kolaborasi antara pemerintah, pendidik, orang tua, dan masyarakat, kita dapat membangun sistem pendidikan yang lebih responsif dan berkualitas. Dengan penerapan inovasi yang berkelanjutan dan pengelolaan yang efektif, pendidikan yang diberikan kepada anak usia dini dapat memastikan bahwa mereka tumbuh menjadi generasi yang siap bersaing dan memberi kontribusi positif kepada masyarakat, menjelang generasi emas 2045.



A. Pendahuluan

Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan anak. Usia 0 hingga 8 tahun dikenal sebagai periode emas, *golden age*, di mana anak mengalami perkembangan yang pesat dalam berbagai aspek, termasuk kognitif, sosial, emosional, bahasa, seni, fisik, serta moral dan agama. Pengalaman belajar yang positif pada fase ini sangat krusial dalam membentuk karakter dan kemampuan dasar anak, sehingga penyediaan pendidikan dan pengelolaan di lembaga PAUD yang berkualitas menjadi sangat penting.

Namun, pengelolaan PAUD saat ini dihadapkan pada berbagai tantangan yang semakin kompleks. Dalam era digital dan globalisasi, anak-anak memerlukan pendidikan yang tidak hanya informatif, tetapi juga inovatif dan menyenangkan. Metode pembelajaran tradisional sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan dan minat anak yang terus berkembang. Oleh karena itu, inovasi dalam metode pembelajaran dan pengelolaan PAUD sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas pendidikan dan menciptakan lingkungan belajar yang menarik serta sesuai dengan kebutuhan anak.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pendidikan yang baik di usia dini dapat memberikan dampak signifikan terhadap perkembangan anak (UNICEF, 2018). Dengan demikian, penting bagi pengelola PAUD untuk menerapkan pendekatan inovatif dalam proses belajar mengajar.

Salah satu inovasi terkini dalam pendidikan adalah Kurikulum Merdeka Belajar (Mulyasa, 2021). Kurikulum ini memberikan fleksibilitas dan kebebasan bagi pendidik untuk menyesuaikan metode dan materi pembelajaran sesuai dengan kebutuhan anak. Kurikulum ini mendukung penerapan pendekatan seperti *deep learning*, yang menekankan pemahaman

yang lebih mendalam, serta pembelajaran berbasis proyek (PBL) (Thomas, 2000) yang mendorong kerja sama dan pemecahan masalah. Selain itu, penggunaan loose parts dapat merangsang kreativitas anak. Dengan menerapkan pendekatan ini, PAUD tidak hanya mendidik, tetapi juga membentuk anak menjadi individu kreatif yang siap menghadapi tantangan di masa depan (Trilling & Fadel, 2009).

Penting untuk memperhatikan Angka Partisipasi Kasar (APK) dan capaian akreditasi dalam memastikan pengelolaan PAUD yang berkualitas (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2020). APK yang tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak anak mendapatkan akses ke pendidikan PAUD. Capaian akreditasi dan standar PAUD yang baik juga menjadi indikator penting dalam menilai kualitas layanan pendidikan yang diberikan. Hal ini sangat krusial dalam mewujudkan pendidikan yang bermutu dan berdampak bagi anak-anak. Pemerintah terus berupaya menjamin kualitas pendidikan anak usia dini melalui penguatan program PAUD sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Novi Maulidiyati, 2024).

Keterlibatan orang tua dan masyarakat menjadi faktor penting yang memengaruhi keberhasilan program PAUD. Keterlibatan orang tua dalam proses pendidikan anak tidak hanya meningkatkan kualitas pendidikan, tetapi juga memperkuat hubungan antara sekolah dan keluarga (Anjani & Mashudi, 2024). Strategi pemasaran campuran dalam pendidikan, yang mencakup produk, harga, tempat, dan promosi, dapat digunakan untuk meningkatkan pengelolaan PAUD dan menarik minat masyarakat. Dengan pendekatan ini, PAUD dapat membangun citra positif di komunitas, sehingga lebih banyak orang tua yang terdorong untuk mendaftarkan anak-anak mereka ke program PAUD.

Melalui integrasi berbagai inovasi dalam pengelolaan PAUD, diharapkan tercipta lingkungan belajar yang tidak hanya menyenangkan, tetapi juga

mendidik. Dengan memanfaatkan Kurikulum Merdeka Belajar (Peraturan Mendikbudristek Nomor 8 Tahun 2024), penerapan *deep learning*, PBL, dan *loose parts*, serta melibatkan orang tua dan komunitas, kita dapat membangun sistem pendidikan yang lebih responsif terhadap kebutuhan anak.

Penting untuk mengeksplorasi bagaimana inovasi dalam pengelolaan PAUD dapat diwujudkan. Penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan bagi pendidik dan pengelola PAUD mengenai pentingnya inovasi untuk menciptakan pendidikan berkualitas dan berdampak bagi anak-anak. Dengan kolaborasi yang baik antara semua pihak, kita dapat membangun generasi masa depan yang tidak hanya cerdas, tetapi juga memiliki keterampilan sosial dan emosional yang kuat, menyongsong Indonesia Emas 2045.

Inovasi di PAUD tidak hanya berhenti pada penerapan kurikulum yang fleksibel, tetapi juga mencakup penggunaan berbagai metode dan alat yang dapat mendukung pembelajaran anak. Misalnya, penggunaan teknologi dalam pembelajaran dapat memperkaya pengalaman belajar anak, dengan memanfaatkan aplikasi edukasi yang interaktif dan menarik. PAUD Umsida mendorong inovasi media pembelajaran ramah lingkungan untuk anak usia dini (PAUD Umsida, 2024).

Di tingkat global, banyak negara telah menerapkan pendekatan inovatif dalam pendidikan anak usia dini yang dapat menjadi contoh bagi Indonesia. Negara-negara seperti Finlandia dan Swedia dikenal dengan sistem pendidikan yang berfokus pada perkembangan holistik anak, di mana pembelajaran dilakukan dalam suasana yang menyenangkan dan suportif. Pendekatan-pendekatan ini dapat diadaptasi untuk konteks lokal Indonesia, dengan memperhatikan kearifan lokal dan budaya setempat.

Pendidikan yang baik di usia dini memiliki dampak jangka panjang. Anak-anak yang mendapatkan pendidikan berkualitas cenderung

memiliki kemampuan akademis yang lebih baik dan keterampilan sosial yang lebih kuat ketika mereka memasuki sekolah dasar dan seterusnya. Oleh karena itu, investasi dalam pendidikan anak usia dini sangat penting untuk mempersiapkan generasi yang tidak hanya cerdas tetapi juga memiliki karakter yang baik.

Pemerintah juga memiliki peranan penting dalam mendukung inovasi di PAUD (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2020). Kebijakan yang mendukung pengembangan kurikulum yang fleksibel, pelatihan bagi guru, dan penyediaan sumber daya yang memadai akan sangat membantu dalam menciptakan lingkungan belajar yang berkualitas. Dengan adanya dukungan dari pemerintah, lembaga PAUD dapat lebih mudah mengimplementasikan inovasi yang diperlukan.

Keterlibatan komunitas dalam pendidikan anak usia dini juga sangat penting. Program-program yang melibatkan masyarakat, seperti *workshop* untuk orang tua dan kegiatan komunitas, dapat membantu meningkatkan pemahaman orang tua tentang pentingnya pendidikan anak usia dini. Dengan melibatkan masyarakat, lembaga PAUD dapat menciptakan jaringan dukungan yang lebih luas, yang pada gilirannya akan meningkatkan kualitas pendidikan yang diberikan (Pelibatan Orang Tua, 2024).

Inovasi dalam pengelolaan dan pembelajaran PAUD menjadi hal yang sangat penting untuk meningkatkan kualitas pendidikan anak usia dini. Melalui pendekatan yang inovatif, pengelola PAUD dapat menciptakan lingkungan belajar yang menarik dan sesuai dengan kebutuhan anak. Dengan kolaborasi antara pemerintah, pendidik, orang tua, dan masyarakat, kita dapat membangun sistem pendidikan yang lebih responsif dan berkualitas, mempersiapkan generasi masa depan yang siap menghadapi tantangan di era global.

Pendidikan yang baik di usia dini adalah investasi yang tidak hanya menguntungkan anak-anak, tetapi juga masyarakat dan negara secara keseluruhan. Dengan fokus pada inovasi dan keterlibatan semua pihak, kita dapat memastikan bahwa setiap anak mendapatkan kesempatan untuk tumbuh dan berkembang secara optimal, serta siap untuk menyongsong masa depan yang cerah. Kementerian Agama juga melakukan piloting PAUD Holistik Integratif di setiap kabupaten/kota tahun 2024 (Kemenag, 2024).

B. Pentingnya Pendidikan Anak Usia Dini Sebagai Fondasi Perkembangan Anak

Selama ini, PAUD seringkali hanya dianggap atau dipandang sebagai tempat penitipan anak yang kegiatannya hanya bertepuk tangan dan bernyanyi atau sekadar persiapan untuk masuk sekolah dasar. Padahal, PAUD memiliki peran yang jauh lebih penting, yaitu sebagai fondasi bagi perkembangan anak secara holistic integratif, meliputi aspek kognitif, sosial-emosional, fisik, bahasa, dan seni serta agama dan moral. Memahami PAUD sebagai investasi jangka panjang yang memiliki dampak positif bagi anak, keluarga, dan masyarakat sangatlah penting (World Bank, 2020).

PAUD berkualitas berperan krusial dalam membangun dasar bagi pertumbuhan dan perkembangan anak karena pada tahap ini merupakan *critical period-the golden ages* dari pada anak usia ini. Dengan pendekatan yang tepat, PAUD dapat mengoptimalkan potensi anak, mempersiapkan mereka untuk pendidikan selanjutnya, serta berkontribusi pada pengembangan sumber daya manusia yang unggul (Britto, Engle, & Super, 2011; UNICEF, 2018). Namun, tantangan dalam pengelolaan PAUD yang efektif dan inovatif masih dihadapi di

berbagai daerah, di mana mutu pendidikan sering kali tidak merata (World Bank, 2020).

Kualitas PAUD tidak hanya ditentukan oleh faktor fisik, seperti gedung dan fasilitas, tetapi juga oleh aspek non-fisik. Ini mencakup kurikulum, kompetensi guru, metode pembelajaran, interaksi antara anak dan guru, serta keterlibatan orang tua (Anggriani, Sari, & Nugroho, 2020). PAUD yang efektif mampu memenuhi kebutuhan perkembangan anak secara optimal, menciptakan lingkungan belajar yang aman dan menyenangkan, serta melibatkan semua pihak terkait dalam proses pendidikan.

Data dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) menunjukkan bahwa kualitas PAUD di Indonesia masih bervariasi. Banyak lembaga yang menghadapi tantangan serius, seperti kekurangan fasilitas, guru yang kurang terlatih, dan kurikulum yang tidak relevan. Selain itu, akses ke PAUD juga belum merata, terutama di daerah terpencil dan pedesaan, yang memperburuk kesenjangan pendidikan (Kemendikbudristek, 2023).

Dalam rangka meningkatkan mutu PAUD, pemerintah telah melakukan berbagai upaya, termasuk peningkatan anggaran, pengembangan kurikulum, pelatihan guru, dan pemberian bantuan operasional. Pemerintah juga meluncurkan Rapor Pendidikan sebagai alat untuk mengukur dan mengevaluasi kualitas PAUD. Namun, upaya ini masih perlu ditingkatkan dan diperluas agar dapat menjangkau semua PAUD di Indonesia.

Masyarakat juga memiliki peran penting dalam meningkatkan mutu PAUD. Orang tua dapat berpartisipasi dalam kegiatan di sekolah, memberikan dukungan moral dan materi, serta memantau perkembangan anak. Organisasi masyarakat, perusahaan, dan individu juga dapat memberikan kontribusi melalui program-program sosial dan donasi. Program Bunda PAUD dengan kolaborasi berbagai

mitranya termasuk organisasi perangkat daerah (OPD) merupakan salah satu inisiatif yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas PAUD melalui keterlibatan orang tua dan masyarakat serta *stakeholder* yang terkait. (Kemendikbud, 2023).

Menurut Sari (2024), terdapat berbagai masalah dalam pengelolaan lembaga PAUD, termasuk kurangnya pemahaman masyarakat tentang pentingnya pendidikan anak usia dini, ketidakseimbangan dalam pelaksanaan pelatihan, dan kekurangan pelatih. Mukaromah (2021) menyoroti bahwa peningkatan kualitas pembelajaran di PAUD memerlukan pengelolaan yang baik sebagai acuan untuk kemajuan lembaga.

Usia 0-8 tahun merupakan periode kritis dalam perkembangan anak, sering disebut sebagai *the golden age*. Intervensi pendidikan yang tepat pada tahap ini memberikan dampak positif yang luas, termasuk perkembangan bahasa, motorik, kognitif, dan sosial-emosional. Oleh karena itu, layanan PAUD harus dirancang untuk memfasilitasi pembentukan fondasi ini, yang akan terus dikembangkan di jenjang pendidikan dasar (UNICEF, 2018).

Selain itu, penerapan pembelajaran inovatif juga menjadi kunci untuk meningkatkan kualitas PAUD. Pendekatan seperti *deep learning* dan pembelajaran berbasis proyek (Project-Based Learning) dapat mendorong keterlibatan aktif siswa dan pengembangan keterampilan kritis yang diperlukan untuk masa depan. Dengan metode ini, anak tidak hanya belajar secara teoritis, tetapi juga mengalami proses pembelajaran yang menyenangkan dan relevan.

Data menunjukkan bahwa anak-anak yang mengikuti PAUD menunjukkan tingkat kesiapan untuk sekolah yang lebih tinggi. Sekitar 67% anak yang mengikuti PAUD memiliki kesiapan lebih baik untuk memasuki taman kanak-kanak, sementara 37% yang tidak mengikuti PAUD cenderung menghadapi kesulitan dalam transisi ke sekolah dasar. Ini

mencerminkan betapa pentingnya pengalaman belajar awal dalam mengembangkan keterampilan yang diperlukan untuk beradaptasi di lingkungan baru.

Komitmen terhadap pendidikan juga lebih kuat di kalangan anak-anak yang mengikuti PAUD. Sekitar 61% dari mereka menunjukkan komitmen lebih besar terhadap pendidikan pada usia 14 tahun, sedangkan hanya 39% dari mereka yang tidak mengikuti PAUD. Tingkat kelulusan di sekolah menengah pun lebih tinggi di antara anak-anak yang berpartisipasi dalam PAUD, dengan 75% lulusan dibandingkan 67% yang tidak mengikuti. Selain itu, PAUD berkontribusi pada pengurangan risiko perilaku kriminal di masa depan. Hanya 36% anak yang mengikuti PAUD terlibat dalam perilaku kriminal, dibandingkan dengan 57% dari mereka yang tidak mengikuti. Ini menunjukkan bahwa akses ke pendidikan dini dapat memberikan dampak positif yang signifikan bagi perkembangan sosial dan emosional anak (Zero to Three, 2023).

Akhirnya, penting untuk menyadari bahwa tanpa inovasi dalam pengelolaan PAUD, lembaga tersebut berisiko tertinggal dan tidak memenuhi kebutuhan anak-anak di era modern. Semua pihak, mulai dari pemerintah, pengelola, pendidik, hingga orang tua, perlu memahami urgensi inovasi ini dan berkolaborasi untuk menciptakan PAUD yang inovatif, berkualitas, dan berdampak positif bagi perkembangan anak usia dini. Dengan demikian, anak-anak tidak hanya siap menghadapi tantangan saat ini, tetapi juga mampu beradaptasi dengan baik di masa depan.

C. Inovasi Dalam Pembelajaran Dan Pengelolaan Paud Berkualitas

Kebutuhan mendesak untuk melakukan inovasi dalam metode pembelajaran dan pengelolaan PAUD semakin jelas dalam upaya untuk meningkatkan kualitas pendidikan anak usia dini yang berdampak. Kajian ini bertujuan untuk menguraikan berbagai inovasi yang

dapat diterapkan guna menciptakan lingkungan belajar yang mampu merangsang kreativitas, kemampuan berpikir kritis, komunikasi yang efektif, serta mendorong keterlibatan orang tua dan masyarakat.

1. **Kurikulum Merdeka dalam Konteks PAUD**

Kurikulum Merdeka memberikan keleluasaan kepada pendidik untuk menyesuaikan konten dan metode pembelajaran berdasarkan kebutuhan serta karakteristik anak (Mulyasa, 2021). Dalam konteks PAUD, guru diberikan kebebasan untuk mengembangkan tema pembelajaran yang relevan dengan lingkungan sekitar anak dan menggunakan pendekatan bermain sambil belajar. Dengan demikian, anak diberikan kesempatan untuk mengeksplorasi minat mereka secara bebas. Penerapan Kurikulum Merdeka di PAUD dapat meningkatkan motivasi serta relevansi pendidikan dengan kehidupan sehari-hari anak (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2020).

2. **Pendekatan *Deep Learning* untuk Anak Usia Dini**

Dalam dunia PAUD, pendekatan *deep learning* semakin mendapatkan perhatian sebagai cara untuk melampaui sekadar menghafal fakta. Lebih dari itu, *deep learning* bertujuan untuk menumbuhkan pemahaman yang kaya dan kemampuan untuk menghubungkan serta menerapkan pengetahuan dalam berbagai konteks. Pendekatan ini menekankan bahwa pendidikan seharusnya tidak hanya tentang apa yang diketahui anak, tetapi juga tentang bagaimana mereka memahami dan menggunakan pengetahuan tersebut (Trilling & Fadel, 2009).

Pendekatan *deep learning* dalam PAUD terus mendapatkan perhatian dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) sebagai bagian dari upaya

peningkatan kualitas pembelajaran. Konsep *deep learning* di PAUD menekankan pembelajaran yang *mindful* (berkesadaran), *meaningful* (bermakna), dan *joyful* (menggembirakan) (bbpmpjateng.kemendikdasmen.go.id, 2025). Hal ini sejalan dengan tujuan untuk menciptakan generasi yang tidak hanya cerdas secara intelektual, tetapi juga tangguh secara emosional dan adaptif terhadap perubahan.

Riset terkini menunjukkan bahwa *deep learning* memiliki potensi besar dalam mengembangkan berbagai aspek pada anak usia dini, termasuk bahasa. Melalui kegiatan yang menghubungkan pembelajaran dengan pengalaman sehari-hari, anak-anak dapat lebih mudah memahami dan mengaplikasikan pengetahuan baru (Jurnal PAUD Agapedia, 2025). Misalnya, pembelajaran berbasis proyek (PBL) dengan topik yang relevan dengan kehidupan anak, seperti Air, dapat merangsang keaktifan dan pemikiran kritis mereka (guruinovatif.id, 2024). Guru dapat memfasilitasi kegiatan seperti mengamati lingkungan sekitar, menonton video pembelajaran, dan berdiskusi untuk mengembangkan pemahaman anak.

Selain itu, *deep learning* juga dapat diintegrasikan dengan media *loose parts* untuk merangsang kreativitas dan eksplorasi anak (bbpmpjateng.kemendikdasmen.go.id, 2025). Dengan memberikan kebebasan kepada anak untuk bermain dan berkreasi dengan berbagai bahan, mereka dapat mengembangkan imajinasi dan kemampuan memecahkan masalah. Pendekatan ini juga membantu anak untuk hadir secara utuh dalam setiap tahapan belajar, mulai dari memahami tujuan hingga merefleksikan hasil belajar.

Dengan demikian, *deep learning* bukan hanya sekadar metode pembelajaran, tetapi juga sebuah filosofi yang menekankan pentingnya pengalaman belajar yang bermakna dan relevan bagi anak usia dini. Kemendikbudristek terus mendorong implementasi

deep learning di PAUD melalui berbagai kebijakan dan program pelatihan untuk guru, dengan harapan dapat menciptakan generasi yang siap menghadapi tantangan masa depan (Kemendikbud, 2025).

Ciri Khas Pembelajaran Mendalam

Apa yang membuat *deep learning* berbeda?

- Pertama, penekanan pada pemahaman mendalam berarti anak-anak tidak hanya mengingat informasi, tetapi benar-benar mengerti mengapa informasi itu penting dan bagaimana itu berhubungan dengan hal lain.
- Kedua, koneksi antar konsep membantu anak melihat bagaimana berbagai ide saling terkait, menciptakan jaringan pengetahuan yang lebih kuat (Wiggins & McTighe, 2005).
- Ketiga, kemampuan untuk mengaplikasikan pengetahuan dalam situasi baru adalah inti dari *deep learning*, memastikan bahwa pembelajaran relevan dan berguna.
- Terakhir, refleksi mendorong anak-anak untuk berpikir tentang apa yang telah mereka pelajari dan bagaimana mereka dapat menggunakannya di masa depan (Meyer & Turner, 2006).

Bagaimana Menerapkan Deep Learning di PAUD?

Ada beberapa cara praktis untuk membawa *deep learning* ke dalam kelas PAUD. Salah satunya adalah melalui **sustained shared thinking**, di mana guru dan anak-anak bekerja sama untuk menjelajahi ide-ide secara mendalam. Guru di sini berperan sebagai fasilitator, membimbing diskusi dan membantu anak-anak membangun pemahaman mereka sendiri (Siraj-Blatchford, 2009).

Pembelajaran berbasis inkuiri juga merupakan strategi yang kuat. Dalam pendekatan ini, anak-anak didorong untuk mengajukan pertanyaan, melakukan eksplorasi, dan mencari jawaban mereka sendiri

melalui percobaan dan penelitian (Hattie, 2009). Selain itu, penggunaan **pertanyaan terbuka** dapat merangsang pemikiran kritis dan kreatif, memungkinkan anak-anak untuk mengekspresikan ide-ide mereka dengan cara yang unik (Hakkarainen, 2009).

Contoh Nyata di Kelas PAUD

Mari kita lihat beberapa contoh bagaimana *deep learning* dapat dihidupkan di PAUD. Bayangkan anak-anak sedang membangun menara dengan balok-balok berbagai bentuk dan ukuran. Melalui kegiatan ini, mereka tidak hanya belajar tentang bentuk dan ukuran, tetapi juga mulai memahami konsep **keseimbangan dan stabilitas** saat mereka mendiskusikan mengapa beberapa menara lebih kokoh daripada yang lain (Meyer & Turner, 2006).

Contoh lainnya adalah mengamati pertumbuhan tanaman dari biji. Anak-anak dapat membuat catatan tentang apa yang mereka lihat setiap hari, mulai dari biji yang kecil hingga tunas yang muncul dan akhirnya menjadi tanaman yang lebih besar. Proses ini membantu mereka memahami **siklus hidup** dan bagaimana tanaman tumbuh, sambil juga mengembangkan keterampilan observasi dan dokumentasi (Wiggins & McTighe, 2005).

Deep learning menawarkan cara yang menjanjikan untuk meningkatkan kualitas pendidikan di PAUD. Dengan fokus pada pemahaman mendalam, koneksi antar konsep, aplikasi pengetahuan, dan refleksi, pendekatan ini membantu anak-anak mengembangkan keterampilan berpikir yang penting untuk sukses di masa depan. Dengan menggunakan strategi seperti *sustained shared thinking*, pembelajaran berbasis inkuiri, dan pertanyaan terbuka, guru dapat menciptakan lingkungan belajar yang merangsang dan memberdayakan anak-anak untuk menjadi pembelajar yang aktif dan terlibat.

Dengan demikian, *deep learning* bukan hanya sekadar metode pembelajaran, tetapi juga sebuah filosofi yang menekankan pentingnya pengalaman belajar yang bermakna dan relevan bagi anak usia dini. Kemendikbudristek terus mendorong implementasi *deep learning* di PAUD melalui berbagai kebijakan dan program pelatihan untuk guru, dengan harapan dapat menciptakan generasi yang siap menghadapi tantangan masa depan (Kemendikbud, 2025). Selanjutnya, *deep learning* bukan hanya tentang apa yang diajarkan, tetapi tentang bagaimana kita membantu anak-anak belajar untuk berpikir, bertanya, dan menjelajahi dunia di sekitar mereka (Mulyasa, 2021).

3. **PAUD Holistik Integratif Menuju PAUD Berkualitas**

Pendekatan *deep learning* dalam PAUD semakin relevan ketika dipadukan dengan konsep PAUD Holistik Integratif (PAUD HI). PAUD HI berfokus pada perkembangan menyeluruh anak, melibatkan aspek kesehatan, gizi, pendidikan, pengasuhan, dan perlindungan. Menurut Sugiyanto dan Hartati (2020), tujuan dari pendekatan ini adalah untuk memberikan dukungan komprehensif sehingga anak dapat tumbuh secara optimal.

Sjamsir, et.al (2024) menjelaskan bahwa PAUD HI melibatkan kerjasama antara berbagai pihak, termasuk guru, orang tua, tenaga kesehatan, dan masyarakat. Kolaborasi ini bertujuan menciptakan lingkungan yang mendukung perkembangan anak secara holistik. Dalam konteks ini, *deep learning* menjadi alat yang efektif untuk merancang pengalaman belajar yang mendalam dan bermakna.

Selanjutnya, Sjamsir, et.al di Balikpapan dan Kutai Kartanegara, advokasi untuk PAUD HI semakin intensif. Hasbi Sjamsir menekankan pentingnya sosialisasi dan pelatihan bagi pendidik serta orang tua untuk memahami prinsip-prinsip PAUD HI. Kegiatan

ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya pendidikan yang menyeluruh dan terintegrasi. Dengan melibatkan masyarakat dalam proses pendidikan, anak-anak di wilayah tersebut diharapkan dapat merasakan manfaat dari pendekatan yang lebih komprehensif ini.

Contoh penerapan *deep learning* di PAUD HI termasuk penggunaan pembelajaran berbasis proyek (PBL) untuk mengeksplorasi topik-topik yang relevan dengan kehidupan sehari-hari anak. Melalui kegiatan ini, anak tidak hanya memperoleh pengetahuan faktual, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi (Kemendikbud, 2025). Selain itu, penggunaan media *loose parts* dapat merangsang kreativitas anak, memberikan mereka kesempatan untuk belajar melalui eksplorasi langsung (bbpmpjateng.kemendikdasmen.go.id, 2025).

Dengan menggabungkan *deep learning* dan PAUD HI, diharapkan anak-anak dapat berkembang secara optimal dalam berbagai aspek kehidupan. Pendekatan ini tidak hanya mempersiapkan mereka untuk menghadapi tantangan di sekolah, tetapi juga membentuk individu yang inovatif dan bertanggung jawab di masa depan (Kemendikbud, 2025).

4. **STEAM (Sains, Teknologi, Rekayasa, Seni, dan Matematika)**

Pendekatan STEAM mengintegrasikan elemen-elemen sains, teknologi, teknik, seni, dan matematika untuk mengembangkan inovasi, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah anak (Yakman & Lee, 2012). Dalam konteks PAUD, STEAM dapat diimplementasikan melalui berbagai aktivitas bermain yang melibatkan eksplorasi bahan-bahan alami, percobaan sederhana, pembuatan karya seni, dan penggunaan teknologi yang sesuai dengan usia anak (Atikah & Biru, 2024). Penerapan STEAM membantu anak memahami dunia di sekitar mereka sambil melatih keterampilan berpikir kritis sejak dini.

5. **Pembelajaran Berbasis Proyek (PBJ)**

Pembelajaran *Project-Based Learning (PBL)* adalah metode pembelajaran yang melibatkan anak dalam proyek-proyek nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari (Thomas, 2000). Dalam konteks PAUD, PBL dapat diterapkan melalui proyek-proyek sederhana seperti menciptakan kebun sekolah, merancang mainan dari bahan daur ulang, atau menyelenggarakan pertunjukan seni (Aisyah & Novita, 2025). Melalui PBL, anak belajar untuk bekerja sama, merencanakan, melaksanakan, dan mengevaluasi proyek, yang pada gilirannya mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan komunikasi yang efektif.

6. **Integrasi TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*)**

TPACK adalah kerangka kerja yang menggambarkan pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan oleh guru untuk mengintegrasikan teknologi secara efektif dalam pembelajaran (Mishra & Koehler, 2006). Dalam konteks PAUD, TPACK membantu guru dalam memilih dan menggunakan teknologi yang sesuai dengan materi pelajaran, metode pengajaran, dan karakteristik anak (Handayani et al., 2023). Sebagai contoh, guru dapat memanfaatkan aplikasi edukasi interaktif, video pembelajaran, atau platform daring untuk memperkaya pengalaman belajar anak dan meningkatkan keterlibatan mereka.

7. **Loose Parts**

Loose Parts merujuk pada bahan-bahan lepas yang dapat digunakan oleh anak untuk bermain dan berkreasi tanpa batasan (Daly, Beloglovsky, & Ishimaru, 2015). Bahan-bahan ini bisa berupa benda-benda alami seperti batu, kayu, dan daun, serta barang-barang bekas seperti kardus, botol plastik, dan kain perca. Penggunaan *Loose Parts* merangsang imajinasi, kreativitas, dan kemampuan pemecahan

masalah anak, serta memberikan kesempatan bagi mereka untuk belajar melalui eksplorasi dan eksperimen (Syafi'i & Dianah, 2021).

8. **Mix Marketing Education dan Strategi 7P**

Mix Marketing Education adalah pendekatan yang lebih dari sekadar promosi; ini adalah strategi komprehensif untuk meningkatkan kualitas dan daya tarik lembaga pendidikan. Salah satu kerangka kerja yang relevan dalam konteks ini adalah strategi 7P (*Product, Price, Place, Promotion, People, Process, dan Physical Evidence*), yang diadaptasi untuk pendidikan. Sjamsir, et.al (2017) telah meneliti implementasi strategi 7P ini dalam membangun kemitraan menuju lembaga mandiri di PAUD. Strategi ini membantu PAUD untuk tidak hanya menawarkan produk pendidikan yang berkualitas, tetapi juga memastikan bahwa layanan tersebut disampaikan dengan cara yang menarik dan efektif bagi orang tua dan masyarakat.

- Produk (*Product*). Program pendidikan yang inovatif dan relevan dengan kebutuhan anak-anak serta tuntutan zaman.
- Harga (*Price*). Biaya pendidikan yang terjangkau dan memberikan nilai yang sepadan dengan kualitas yang ditawarkan.
- Tempat (*Place*). Lokasi PAUD yang strategis, mudah diakses, dan memiliki fasilitas yang memadai.
- Promosi (*Promotion*). Upaya pemasaran yang efektif untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang PAUD.
- Orang (*People*). Guru dan staf yang berkualitas, kompeten, dan berdedikasi.
- Proses (*Process*). Sistem pembelajaran dan pelayanan yang efisien dan profesional.
- Bukti Fisik (*Physical Evidence*): Lingkungan belajar yang aman, nyaman, dan mendukung perkembangan anak.

9. Keterlibatan Orang Tua dan Masyarakat

Keterlibatan orang tua dan masyarakat sangat krusial dalam mendukung keberhasilan program PAUD (Epstein, 2011; Christenson & Sheridan, 2001). Orang tua dapat berkontribusi dalam berbagai kegiatan di PAUD, seperti membantu mengajar, mendampingi kegiatan lapangan, atau menyumbangkan bahan-bahan pembelajaran. Masyarakat juga dapat memberikan dukungan melalui kegiatan sukarela, donasi, atau kerjasama dalam program-program PAUD. Keterlibatan ini menciptakan lingkungan yang mendukung perkembangan anak secara menyeluruh dan meningkatkan kualitas pendidikan yang diterima.

10. Menciptakan AUD yang Kreatif, Berpikir Kritis, dan Komunikatif

Dengan menerapkan berbagai inovasi di atas, PAUD dapat menciptakan lingkungan belajar yang merangsang kreativitas, kemampuan berpikir kritis, dan komunikasi efektif anak (Trilling & Fadel, 2009). Anak-anak yang kreatif mampu menghasilkan ide-ide baru dan solusi yang inovatif. Mereka yang berpikir kritis dapat menganalisis informasi, menilai argumen, dan mengambil keputusan yang tepat. Anak-anak yang komunikatif mampu menyampaikan ide dan pendapat mereka dengan jelas dan efektif. Keterampilan-keterampilan ini sangat penting untuk mempersiapkan mereka menghadapi tantangan di abad ke-21.

11. Implikasi Inovasi dalam Pendidikan Anak Usia Dini

Implementasi inovasi dalam PAUD tidak hanya akan meningkatkan kualitas pendidikan, tetapi juga berpotensi memberikan dampak jangka panjang yang positif terhadap perkembangan anak di masa depan. Inovasi seperti Kurikulum Merdeka dan PAUD Holistik Integratif memungkinkan anak untuk belajar secara efektif dan sesuai dengan perkembangan mereka masing-masing. Dengan pendekatan yang lebih

fleksibel dan responsif terhadap kebutuhan anak, PAUD dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik dan bermanfaat.

12. Tantangan dan Solusi dalam Implementasi Inovasi

Walaupun inovasi dalam PAUD menawarkan banyak manfaat, juga terdapat tantangan dalam implementasinya. Salah satu tantangan utama adalah kurangnya pelatihan bagi guru dalam menerapkan metode dan pendekatan baru. Oleh karena itu, perlu ada program pelatihan yang terencana dan berkelanjutan untuk membantu guru memahami dan menerapkan inovasi tersebut dengan baik. Selain itu, dukungan dari orang tua dan masyarakat juga sangat penting untuk menciptakan lingkungan yang kondusif bagi inovasi di PAUD.

D. Pengelolaan dan Pembelajaran PAUD Inovatif Berkualitas

Inovasi dalam pengelolaan dan pembelajaran Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) adalah langkah krusial untuk meningkatkan kualitas pendidikan yang memberikan dampak signifikan bagi anak-anak. Dalam konteks ini, penting untuk mengadopsi fungsi-fungsi manajemen yang dikemukakan oleh George R. Terry, yaitu Planning (Perencanaan), Organizing (Pengorganisasian), Actuating (Pelaksanaan), dan Controlling (Pengawasan) atau dikenal dengan POAC (Terry, 1958).

Dengan menerapkan pendekatan modern seperti Kurikulum Merdeka (Peraturan Mendikbudristek Nomor 8 Tahun 2024), PAUD Holistik Integratif (Kemenag, 2024), STEAM, Pembelajaran Berbasis Proyek (PBJL), TPACK, penggunaan Loose Parts, dan strategi Pemasaran Campuran dalam Pendidikan, kita dapat menciptakan lingkungan belajar yang tidak

hanya menarik, tetapi juga mampu menstimulasi kreativitas anak.

Selanjutnya, dengan inovasi tersebut berfokus pada pengembangan kemampuan berpikir kritis, komunikasi yang efektif, dan pembentukan karakter yang baik. Selain itu, keterlibatan aktif orang tua (Anjani & Mashudi, 2024) dan masyarakat sangat penting dalam proses ini, membantu menciptakan dukungan yang lebih luas bagi anak-anak. Pemanfaatan teknologi, seperti aplikasi digital untuk manajemen kelas dan komunikasi dengan orang tua, juga menjadi bagian tak terpisahkan dari inovasi ini (Kemendikbud, 2025).

Penyelenggaraan pelatihan guru mengenai metode pembelajaran inovatif (Sjamsir, et.al 2024) dan pengembangan program parenting (Sugiyanto & Hartati, 2020) juga merupakan langkah strategis dalam meningkatkan kualitas PAUD. Dengan cara ini, PAUD tidak hanya mempersiapkan anak untuk pendidikan selanjutnya, tetapi juga membekali mereka dengan kepercayaan diri dan kemandirian yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di masa depan.

Melalui penerapan inovasi yang berkelanjutan dan pengelolaan yang efektif dengan prinsip POAC, kita dapat memastikan bahwa pendidikan yang diberikan kepada anak usia dini tidak hanya berkualitas, tetapi juga relevan dengan kebutuhan dan realitas yang ada, sehingga anak-anak dapat tumbuh menjadi generasi yang siap bersaing dan berkontribusi positif bagi masyarakat.

Pengelolaan PAUD yang inovatif adalah kunci dalam menciptakan lingkungan belajar yang berkualitas. Salah satu langkah penting adalah penggunaan aplikasi digital untuk manajemen kelas dan komunikasi dengan orang tua. Dengan memanfaatkan berbagai platform media sosial (WA, SMS, FB, Instag, dan lain-lain), guru dapat berbagi informasi secara real-time, menginformasikan kegiatan

kelas, serta mengajak orang tua terlibat dalam proses pembelajaran anak (Kemendikbud, 2025). Komunikasi yang baik antara guru dan orang tua sangat penting untuk mendukung perkembangan anak secara holistik.

Selain itu, penyelenggaraan pelatihan guru mengenai metode pembelajaran inovatif menjadi langkah strategis lainnya. Pelatihan ini bertujuan untuk memperkenalkan berbagai pendekatan dan teknik yang dapat meningkatkan efektivitas pengajaran di kelas. Dengan bekal pengetahuan yang lebih baik, guru dapat menerapkan metode yang lebih menarik, seperti pembelajaran berbasis proyek dan permainan edukatif, yang sesuai dengan kebutuhan anak (Sjamsir, et.al 2024).

Pengembangan *program parenting* juga merupakan komponen penting dalam pengelolaan PAUD yang berkualitas. Program ini dirancang untuk meningkatkan keterlibatan orang tua dalam pendidikan anak, sekaligus memperhatikan indikator PAUD berkualitas yang berlandaskan pada prinsip PAUD Holistik Integratif. Melalui kegiatan seperti seminar, lokakarya, dan sesi berbagi pengalaman, orang tua dapat memahami peran mereka dalam mendukung perkembangan anak-anak mereka (Sugiyanto & Hartati, 2020).

Dengan mengintegrasikan teknologi, pelatihan guru, dan keterlibatan orang tua, pengelolaan dan pembelajaran PAUD dapat ditingkatkan secara signifikan. Pendekatan ini tidak hanya menciptakan lingkungan belajar yang menyenangkan, tetapi juga memastikan bahwa setiap anak mendapatkan dukungan yang mereka butuhkan untuk tumbuh dan berkembang secara optimal.

E. Kesimpulan

Pendidikan anak usia dini tidak hanya mempersiapkan anak untuk pendidikan selanjutnya, tetapi juga

membekali mereka dengan kepercayaan diri dan kemandirian yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di masa depan. Melalui penerapan inovasi yang berkelanjutan dan pengelolaan yang efektif dengan prinsip POAC, kita dapat memastikan bahwa pendidikan yang diberikan kepada anak usia dini tidak hanya berkualitas, tetapi juga relevan dengan kebutuhan dan realitas yang ada, sehingga anak-anak dapat tumbuh menjadi generasi yang siap bersaing dan berkontribusi positif bagi masyarakat. Inovasi dalam pengelolaan dan pembelajaran PAUD adalah langkah krusial untuk meningkatkan kualitas pendidikan yang memberikan dampak signifikan bagi anak-anak.

Dengan menerapkan pendekatan *modern* seperti Kurikulum Merdeka, PAUD Holistik Integratif, *STEAM*, Pembelajaran Berbasis Proyek (PBJL), *TPACK*, penggunaan *Loose Parts*, dan strategi Pemasaran Campuran dalam Pendidikan, kita dapat menciptakan lingkungan belajar yang tidak hanya menarik, tetapi juga mampu menstimulasi kreativitas anak.

Inovasi tersebut berfokus pada pengembangan kemampuan berpikir kritis, komunikasi yang efektif, dan pembentukan karakter yang baik. Selain itu, keterlibatan aktif orang tua dan masyarakat sangat penting dalam proses ini, membantu menciptakan dukungan yang lebih luas bagi anak-anak. Dengan cara ini, PAUD tidak hanya mempersiapkan anak untuk pendidikan selanjutnya, tetapi juga membekali mereka dengan kepercayaan diri dan kemandirian yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di masa depan.

Melalui penerapan inovasi yang berkelanjutan, kita dapat memastikan bahwa pendidikan yang diberikan kepada anak usia dini tidak hanya berkualitas, tetapi juga relevan dengan kebutuhan dan realitas yang ada, sehingga anak-anak dapat tumbuh dan berkembang menjadi generasi yang siap bersaing dan berkontribusi positif bagi masyarakat menyongsong generasi emas 2045.

F. Lampiran Foto-Foto Kegiatan Pengelolaan Dan Pembelajaran Paud Inovatif





LOOSE PARTS



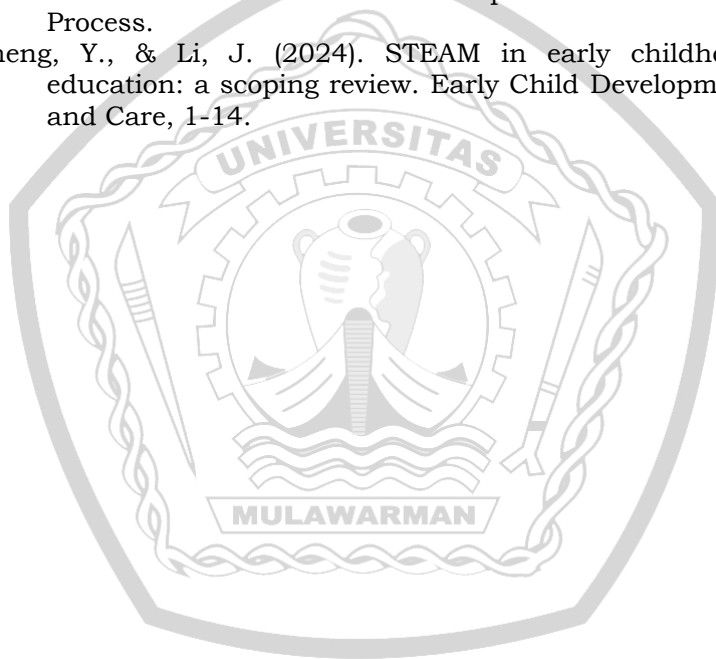


DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Majied, S., Kinkead-Clark, Z., & Burns, S. C. (2022). Understanding Caribbean Early Childhood Teachers' Professional Experiences During the COVID-19 School Disruption. *Early Childhood Education Journal*, 51(3), 431–441.
- Aisyah, S., Arisanti, K., & Yaqin, F. A. (2023). Adaptasi Dan Inovasi Madrasah Ibtidaiyah Dalam Menyambut Kurikulum Merdeka Belajar. *Jurnal Educatio Fkip Unma*, 9(1), 386–393.
- Aisyah, S., & Novita, D. (2025). Teachers' perception of the implementation of project-based learning in early childhood education in Indonesia. *Cogent Education*, 12(1).
- Alper, A. B., & Ulutaş, F. (2022). Developing Creative Thinking in Preschool Children: A Comprehensive Review of Innovative. *European Journal of Educational Research*, 13(3), 1303–1319.
- Astuti, R. (2023). "Inovasi dalam Pendidikan Anak Usia Dini: Mengintegrasikan STEAM dan Loose Parts." *International Journal of Early Childhood Education*, 15(2), 75-89.
- Atikah, C., & Biru, L. T. (2024). STEAM-based Learning to Enhance Early Childhood Creativity. *International Journal of STEM Education for Sustainability*, 4(1), 164-175.
- Cankaya, Ö. C., Kaya, B., & Çakır, F. S. (2023). Preschool Children's Loose Parts Play and the Relationship to Cognitive Development: A Review of the Literature.
- Ding, Y., & Li, Y. (2024). A study of preschool integration of deep learning to optimize the content of personalized education for young children. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1).
- Ezea, J. U. (2024). Early Childhood Education and Development: Innovations and Best Practices.
- Gözüm, A.İ.C.; Papadakis, S.; Kalogiannakis, M. Preschool Teachers' STEM Pedagogical Content Knowledge: A Comparative Study of Teachers in Greece and Turkey. *Front. Psychol.*, 2022, 13, 996338.

- Handayani. (2024). Deep Learning: The Implementation of the ABCD5E Learning Model with the Stimulation of High Order Thinking Skills. *Journal of Curriculum Indonesia*, 7(1), 49-56.
- Jamaluddin. (2023). Graph of Gross Enrollment Rate for Kindergarten and Early Childhood Education. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. (2020). Panduan Implementasi PAUD Berkualitas. Jakarta: Kemdikbud.
- McCoy et al. (2021). Global tracking of access and quality in early childhood care and education. *Early Childhood Research Quarterly*, 56, 108-118.
- Mardiyana, D. (2022). "Penerapan Pembelajaran Berbasis Proyek di PAUD." *Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 11(3), 145-160.
- Mulyasa, E. (2021). Kurikulum Merdeka Belajar: Konsep dan Implementasi. Remaja Rosdakarya.
- Palaiologou, I. (2016). Project Based Learning in Early Years: A systematic review of the literature. *Early Years: An International Research Journal*, 36(4), 357-373.
- Permendikbud No. 30 Tahun 2021 tentang Kurikulum PAUD.
- QAHE. (2024). Improving Quality of Early Childhood Education in Indonesia Through Accreditation Remains Elusive.
- Raikes et al. (2023). Global tracking of access and quality in early childhood care and education. *International Journal of Child Care and Education Policy*, 17(14).
- Razi, S., & Zhou, Q. (2022). STEAM in early childhood education: teachers' curriculum design thinking and implementation self-efficacy. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-23.
- Sando, O. J., Sandseter, E. B. H., & Brussoni, M. (2023). The Role of Play and Objects in Children's Deep-Level Learning in Early Childhood Education. *Education Sciences*, 13(7), 701.
- Stojanović, B. et al. (2023). Project-Based Learning in Early Childhood Education in Serbia: First Experiences of Preschool Teachers, *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education (IJCRSEE)*, 11(2), 213-220.
- Thomas, J. W. (2000). A review of research on project-based learning. Autodesk Foundation.

- Torre, L. A., & Edwards, S. (2024). The Relationship Between Children's Indoor Loose Parts Play and Cognitive Development: A Systematic Review. *Child Indicators Research*, 1-23.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- UNICEF. (2018). *The State of the World's Children 2018: Children in a Digital World*. New York: UNICEF.
- World Bank. (2020). *Understanding the Key Determinants of Early Childhood Education in Chad*.
- World Bank. (2023). *Assessment of Indonesia's Early Childhood Education and Development Accreditation Process*.
- Zheng, Y., & Li, J. (2024). STEAM in early childhood education: a scoping review. *Early Child Development and Care*, 1-14.



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, saya mengucapkan terima kasih atas anugerah-Nya yang telah memudahkan dan melancarkan perjalanan saya dalam mencapai gelar Guru Besar ini. Saya ingin menyampaikan penghormatan dan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

- Menteri Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi
- Rektor Universitas Mulawarman, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU, ASEAN Eng., dan jajarannya
- Ketua Senat Universitas Prof. Dr. H. Muh. Masruhim, M.Kes beserta seluruh anggota Senat Universitas Mulawarman
- Tim Penilai Guru Besar
- Dekan FKIP Prof. Dr. H. Susilo, M.Pd beserta jajarannya
- Ketua Senat FKIP beserta seluruh anggotanya
- Ketua LP2M dan LP3M beserta jajarannya
- Teman-teman tenaga kependidikan di Rektorat dan di FKIP
- Keluarga besar Universitas Mulawarman, khususnya FKIP
- Rekan-rekan dosen dan mahasiswa Program Studi PAUD serta S3 Manajemen Pendidikan FKIP

Saya juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada kedua orang tua tercinta (Alm. H. Sjamsir Idris dan Almarhumah Hj. Munazirah Zakaria, istri tercinta Ghitarina Syamsu Mappa, anak-anak tercinta Bittarae Maulana dan Bittarae Fatahillah BZR serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan dan kasih sayangnya.

Semoga doa-doa terbaik mereka senantiasa menyertai langkah saya ke depan, dan Allah

memberikan balasan yang berlipat ganda atas segala kebaikan yang telah diberikan.

Wassalam,

Hormat saya,
Hasbi Sjamsir



CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Dr. Hasbi Sjamsir, M.Hum.
NIP : 196307181990021003
NIDN : 0018076302
Tempat, Tanggal
Lahir : Pare-pare, 18 Juli 1963
Agama : Islam
Email : hasbisjamsir@fkip.unmul.ac.id
No HP : +6281266627147
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Pangkat, Gol. : Pembina Tk. I, IV B
Jabfung, TMT : Guru Besar, 1 April 2025
ID SINTA : 6069933
ID SCOPUS : 57203124999
ID SCHOLAR : gYybgSYAAAAJ&hl=en

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) Program Studi Bahasa Inggris, Fakultas Sastra, Universitas Hasanuddin, 1988.
2. Magister (S2) Humaniora. Program Studi Linguistik, Pascasarjana Universitas Hasanuddin, 1996.
3. Doktor (S3) Teknologi Pendidikan, Konsentrasi Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD), Universitas Negeri Jakarta, 2012.

PENGEMBANGAN KARIER DI BIDANG PENDIDIKAN

1. Workshop Research Design and Methodology University of Adelaide Australia
2. Writing Research Articles for International Publication (Victoria University of Wellington-New Zealand)
3. Post Graduate Certificate Educator, IoE, UK-London

4. Certificate attended the Advanced Course for Teacher Educators, St. Mary's University College, Twickenham, UK-London)
5. Sandwich Like Program Ohio State Univ. Columbus-USA

RIWAYAT PEKERJAAN

1. Dosen Universitas Mulawarman (UNMUL), Institut Agama Islam Negeri Samarinda (IAIN), Universitas Terbuka (UT)
2. Divisi Tim Penjamin Mutu Dewan Pendidikan Kaltim (non aktif)
3. Nara sumber Diknas, Pendikel Nasional dan BNN Kaltim
4. Koordinator Program Doktor MP FKIP UNMUL
5. Asesor dan anggota BAN PAUD BNF Kaltim
6. Sebagai reviewer berbagai journals bereputasi nasional dan bereputasi internasional (Scopus, WoS)
7. Reviewer Akademik LPDP
8. ASESOR BKD

RIWAYAT PUBLIKASI

1. Sutanto, Andi, Saraka, Hasbi Sjamsir. 2018. *Bureaucracy Reformation Management for Polri at the police technical function units of Polresta Samarinda*. (published 2017: The Journal of Social Science). Available at: <https://ideas.repec.org/a/arp/tjssrr/2017p115-119.html> (SCOPUS indexed). <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100870214&tip=sid&clean=0> As corresponding author
2. Hasbi Sjamsir, Baldwine Honest Gunarto. 2018. *Implementasi Strategi 7 PS (Marketing Mix) Dalam Membangun Kemitraan Menuju Lembaga Mandiri Dipendidikan Anak Usia Dini*. Manajemen dan Supervisi Pendidikan, Volume 1, Nomor 2 Maret 2017: 165 – 17.

- <http://journal2.um.ac.id/index.php/jmsp/article/view/1871/1102>
3. Hasbi Sjamsir. 2018. *The Influence of TPR, GTM Methods and Linguistic Intelligence towards the Learning Outcomes In English DAP Based (An Experimental Study at the Students of The Second Grade Of Sdn Samarinda, East Borneo)* (Published: English Language and Literature Review Journal. <https://ideas.repec.org/a/arp/ellrar/2018p58-61.html>
 4. H. Liana, Budi Rahardjo, Hasbi Sjamsir. 2018. *Implementasi Pembelajaran Karakter Anak Usia Dini Di Paud Anak Kita Preschool Samarinda.* <https://jurnal.fkip-uwgm.ac.id/index.php/pendasmahakam/article/view/222>. As corresponding author.
 5. Sapril, Hasbi Sjamsir, Saraka. 2018. *Secondary School Teachers Performances at Sandaran Sub-District of East Kutai District East Kalimantan Indonesia,* "The Journal of Social Sciences Research, Academic Research Publishing Group, vol. 4(5), pages 80-83, 05-2018. Available at: <https://ideas.repec.org/a/arp/tjssrr/2017p115-119.html> (SCOPUS indexed). As a corresponding author. <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100870214&tip=sid&clean=0>
 6. Jumriati Jumriati, Suryadi Suryadi, Hasbi Sjamsir. 2018. *The Effect of Supervision, Social Competence and Professional Competence towards the Teachers Performance of State of Junior High School.* 2018. Available at: <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/ijer/article/view/8161>
 7. Hasbi Sjamsir, Farny Sutriany Jafar, Fitriyani Arifin, 2018. *Penerapan Metode Karyawan terhadap Kemampuan Berbahasa Ekspresi (Berbicara) Anak Usia 5-6 Tahun di TK Darul Falah Ponpes Samarinda.* 2018. Sebagai ketua. Available at: <http://ojs.unm.ac.id/semappip/article/view/6126/0>
 8. Siti Fatimah, Susilo Susilo, Hasby Sjamsir. 2018. *The effect of using L1 in EFL teaching on secondary school students' vocabulary achievement.* Authors. Available at: <https://www.atlantis->

- press.com/proceedings/icedutech-17/25902608
<http://dx.doi.org/10.2991/icedutech-17.2018.29>
9. Hasbi Sjamsir, Dian Anggriyani, Putri MI. 2018. *The Teaching English Vocabulary to Young Learners at Kindergartens with BCCT Approach (a case study at Al-Azhar Syifa Budi)*. Published by Research Journal of Education, 2018. Available at: <https://www.atlantispress.com/proceedings/ecpe-18/authors?page=2>. Part of series ASSEHR Volume 244 ISSN 2352-5398 ISBN 978-94-6252-584-9
 10. Anik Puji Rahayu, Lambang Subagiyo, Sestuningsih Margi Rahayu, Hasbi Sjamsir. 2019. *The Principles of Good University Governance at Islamic Muhammadiyah University of East Borneo*. Available at: <https://arpgweb.com/journal/7/archive/10-2018/10/4> [https://arpgweb.com/pdf-files/jssr4\(10\)200-204.pdf](https://arpgweb.com/pdf-files/jssr4(10)200-204.pdf). SCOPUS indexed. <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100870214&tip=sid&clean=0> As a corresponding author
 11. Suhaimi Suhaimi, Ma'ruf Akbar, Hasbi Sjamsir. 2019. *The Effect of Pedagogical Competence, Attitude Towards Profession And Motivation on Teachers Performance*. Available at: Published 20th Mar 2019 Publisher EAI <http://dx.doi.org/10.4108/eai.21-11-2018.2282241>. <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.21-11-2018.2282241> (SCOPUS indexed).
 12. Hasbi Sjamsir, Farny Sutriany Jafar, Anis Alfiah. 2019. *The Cultivation of Entrepreneurship Values in Children Aged 5-6 Years at TK Khalifah Samarinda*. December 2018. DOI: 10.2991/esic-18.2019.4 Conference: Proceedings of the Educational Sciences International Conference (ESIC 2018). Atlantis Press. DOI. <https://doi.org/10.2991/esic-18.2019.4>
 13. H Sjamsir, FS Jafar, A Nurjanah. 2018. *Peningkatan Kreativitas Anak Usia Dini 5-6 tahun melalui Pemanfaatan Barang Bekas di TK Islam Al-Kautsar, Samarinda*. Available at: <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/eceji/article/view/32395/13862>
 14. Muhammad Yusuf, Muh. Amir Masruhim, Hasbi Sjamsir. 2018. *Integrated Quality Management Practices in the Technical and Vocational Education in Indonesia: A Lesson from the SMKN 7 Samarinda, East Kalimantan*

- Province*. Conference: Proceedings of the Educational Sciences International Conference (ESIC 2018) DOI: 10.2991/esic-18.2019.21. Atlantis Press. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/esic-18/125910507>
15. Evy Nurachma, Encik widyani, Hasbi Syamsir. 2019. *Correlation of attitude and knowledge towards SADARI in dayak tribe community in Samarinda*. IJAMSCR | Volume 7 | Issue 4 | Oct - Dec - 2019 www.ijamscr.com https://www.ijamscr.com/sites/default/files/articles/IJAMSCR-19-419_1316-1320.pdf (Indexed Copernicus International ICV: 62.60, GS)
 16. Sinta Tri Rahayu, Lambang Subagiyo, Saraka, Hasbi Sjamsir. 2020. *Analysis of School Supervisor Planning in Kutai Kartanegara*. Advances in Social Science, Education and Humanities Research, volume 432. 2nd Educational Sciences International Conference (ESIC 2019). ISBN 978-94-6252-956-4 ISSN 2352-5398 <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200417.023>
 17. Khusnul Wardan, Susilo Susilo, Saraka Saraka, Hasbi Sjamsir. 2020. Teacher Training Program of the East Kutai Regency Office of Education, East Borneo, *International Journal of Secondary Education*. Vol. 8, No. 2, 2020, pp. 47-52. DOI: [10.11648/j.ijssedu.20200802.14](https://doi.org/10.11648/j.ijssedu.20200802.14). As a Corresponding author
 18. Dianisa Zenith, Zaenab Hanim, Hasbi Sjamsir. 2020. *Efektivitas Permainan Tradisional dalam Mengembangkan Gerak Manipulatif Anak Usia 4-5 tahun di PAUD ARSA Muda Loa Raya, East Kaltim*. <https://ojs2.ikipgrikaltim.ac.id/index.php/Cendekia/article/view/108>
 19. Saiful Bahri, Dr. Hasbi Sjamsir, Prof. Dr. Susilo, Dr. H. Saraka. 2020. *Implementation of Management of School Based Education Quality Improvement at SMPN 1 Melak, West Kutai Regency, East Kalimantan*. International Journal of Education and Social Science Research. Impact Factor : 2.014 ISSN 2581-5148 <http://ijessr.com/>. As a Corresponding author.
 20. Baharuddin, Husaini Usman, Edi Rachmad, and Hasbi Sjamsir. 2020. *Quality culture development model in state elementary school-tenggarong*. International Journal of Psychosocial Rehabilitation ISSN:1475-7192.

- Volume 24 - Issue 6. As corresponding author
<https://www.psychosocial.com/article/PR261434/33156/> Sopus indexed.
<https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=17700156008&tip=sid&clean=0>
21. Huda, Rahmat Soeod, Johansyah, Hasbi Sjamsir. 2020. *The Effect of Professional Competence on the Work Effectiveness of State Vocational School Teachers in Samarinda-Eas Kalimantan*. Quest Journals. Journal of Research in Humanities and Social Science. Volume 8 ~ Issue 8 (2020) pp: 24-29 ISSN (Online):2321 9467. www.questjournals.org . As corresponding author
 22. Suriansyah, Dwi Nugroho, Usfandi Haryaka, Hasbi Sjamsir. 2020. *The effect of principal managerial leadership on the performance of senior high school teachers in samarinda, east borneo-indonesia*. JCR. 2020; 7(19): 9383-9390doi: 10.31838/jcr.07.19.1047 <https://www.bibliomed.org/mnsfulltext/197/197-1601637223.pdf?1605498029>. Scopus indexed. <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100920227&tip=sid&clean=0> . As corresponding author
 23. Rosmiati, Dwi Nugroho Hidayanto, Hasbi Sjamsir, Nur Agus Salim. 2020. *Partnership Management Strategy: A Study At Vocational High School In East Kalimantan*. <http://solidstatetechnology.us/index.php/JSST/article/view/5724>
<https://www.scopus.com/sourceid/27209>
 24. Evy Nurachma, Lambang Subagiyo, Johansyah, Hasbi Sjamsir. 2020. *Internal quality assurance system at the Samarinda obstetrics academy*. <http://www.palarch.nl/index.php/jae> .
<https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100286805&tip=sid&clean=0>. Scopus indexed. As corresponding author
 25. Elbadiansyah, Muhammad Tommy Fimi Putra, Hasbi Sjamsir. 2020. *Empowerment Program Analysis of MSMES at the Department of Industry, Trade, Cooperatives and MSMES in Samarinda City*. <https://solidstatetechnology.us/index.php/JSST/article/view/6152>
<https://www.scopus.com/sourceid/27209>
 26. Gurdi, Prof. Dr. H. Muh. Amir Masruhim, M.Kes, Assoc. Prof. Dr. G. Simon Devung, M.Pd., M.Si Assoc. Prof. Dr.

- Hasbi Sjamsir, M.Hum. 2021. *Implementation Of Total Quality Management At Sman 1 Muara. Pahu West Kutai District, East Borneo. Quest Journals Journal of Research in Humanities and Social Science. Volume 9 ~ Issue 4 (2021) pp: 01-10 ISSN(Online):2321-9467. <http://www.questjournals.org/jrhss/papers/vol9-issue4/A09040110.pdf> . As corresponding author*
27. Dasmiah, Lambang Subagyo, Edi Rahmad, Hasbi Sjamsir. 2021. *Education Service Management Model in Special Needs Children at Inclusive Elementary School in Samarinda, East Kalimantan. IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM) e-ISSN: 2278-487X, p-ISSN: 2319-7668. Volume 23, Issue 4. Ser. I (April 2021), PP 29-34 www.iosrjournals.org. As corresponding author.*
 28. Bere Ali, Dwi Nugroho Hidayanto, Saraka Ali, Hasbi Sjamsir. 2021. *Life Skill-Based Learning Management At State Vocational High School (Smkn) 3 Samarinda. <https://ijessr.com/index.php> As corresponding author ON PROCESS*
 29. Hasbi Sjamsir, Jumrani, 2021. *Central management of community learning activities (pkbm) (Case Study In Central Management Of Community Learning Activities (PKBM). <http://questjournals.org/fees.html> ON PROCESS*
 30. Usfandi, Haryaka, Hasbi Sjamsir. 2021. *Factors Influencing Teachers' Performance In Junior High School. <https://turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/view/2535>. Scopus Indexed. As corresponding author.*
 31. Sjamsir Hasbi, Yuliani. 2021, *Nature-Based Learning Analysis In The Nature School Of Early Childhood Education-Barokallah Samarinda. International Journal of Early Childhood Special Education (INT-JECSE). <https://int-jecse.net/data-cms/articles/20211202113135am211038.pdf>. <https://www.scopus.com/sourceid/21100201518>. As a corresponding author*
 32. Tongkachok, K., Halloul, R., Lourens, ME., Sjamsir, H., Liana, H. 2021. *Management Information Systems For Risk Analysis And Decision Making An Empirical Investigation. <https://www.abacademies.org/articles/Management-information-systems-for-risk-analysis-and-decision->*

- [making-an-empirical-investigation-1939-6104-20-4-797.pdf](#)
<https://www.scopus.com/sourceid/19700175176?origin=recordpage>
33. Dita Meliawati, Hasbi Sjamsir. 2022. Peningkatan Kemampuan Mengenal warna melalui Kegiatan Finger Painting Pada Anak Kelomok B Di TK Rahayu Samarinda.
<https://jurnal.fkip.unmul.ac.id/index.php/bedu/article/view/1636/977>
 34. Sjamsir Hasbi. 2022. Implementasi Pengembangan Anak Usia Dini Holistik Integratif di Kota Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur.
<https://jurnal.fkip.unmul.ac.id/index.php/bedu/article/view/1847/1051>
 35. Khairatun Nisa, Hasbi Sjamsir. 2022. Upaya Mengembangkan Kemampuan Kognitif Anak dalam Mengenal Lambang Bilangan 1-10 Menggunakan Media Loose Part Melalui Kegiatan Bermain Variatif pada Anak Kelompok A TKTeratai.
<https://doi.org/10.30872/bedu.v3i1.1600>
 36. Tien Harlianty, Hasbi Sjamsir. 2022. Meningkatkan Kemampuan Mengenal Huruf Menggunakan Media Kartu Huruf Pada Anak Kelompok BTKAl Ihsan Kecamatan Sungai Tabuk.
<https://doi.org/10.30872/bedu.v3i1.1604>
 37. Rani Soraya, Hasbi Sjamsir. 2022. Upaya Meningkatkan Kemampuan Menggambar Tematis Melalui Teknik Menggaris dan Mewarnai Pada Kelompok BTKGelatik VMuara Jawa.
<https://doi.org/10.30872/bedu.v3i1.1606>
 38. Andi Dea Aprilliyani, Dian Wahyu Putri Bintang, Mania Natasya Juliani Keni, Wanda Lestari, Hasbi Sjamsir, Adharina Dian Pertiwi. 2022. Pengaruh Pola Asuh Terhadap Sosial Emosional Anak Kembar DOI: <https://doi.org/10.33222/pelitapaud.v7i1.2444> SINTA 4
 39. H. Sjamsir, Amir Amir. 2022. The Effect of Optimization Service and Work Motivation with Discipline of Employees in Measuring Performance Satisfaction on Education Personnel in UPT of Education Department in the District of East Kutai. DOI:

- https://doi.org/10.23887/jurnal_ap.v13i2.1464 SINTA 4
40. Andi Sutanto, Hasbi Sjamsir, Susilo. 2022. The Effect of Communicative Language Teaching (CLT) Method on Speaking Ability and Speaking Anxiety. DOI <https://doi.org/10.24903/bej.v4i2.1061> . SINTA 5
 41. Mutiara Efendi, Yusrina Nadila, Putri Nur, Azizah Baitul Atiq, H. Sjamsir. 2022. Pola Asuh Terhadap Anak Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). DOI: <https://doi.org/10.33222/pelitapaud.v7i1.2500> . SINTA 4
 42. BUKU REFERENSI. Sjamsir, H., Nuzul, H., Palenewen, Evi. 2022. Strategi Beruan Madu. Pengembangan Aspek Perkembangan Anak Usia Dini. Penerbit: Ghita Cahya Media Aksara, 2022. QRCBN 62-1020-9228-050 <http://githaksara.com/category/buku-terbit/>
 43. Sjamsir Hasbi, Zaenab Hanim, Sani Bin Husain. 2023. *The implementation optimization of school development plan in flood disaster mitigation policy in tropical rainforest (Case study at state junior high school 5 Samarinda)*. : www.sciencedirect.com/journal/social-sciences-and-humanities-open <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100440> .
 44. Alma Muthia Ananda, Hasbi Sjamsir, Adharina Dian Pertiwi. 2025. *Peran Guru dalam Pembentukan Pendidikan Karakter Anak Usia 5-6 Tahun*. <https://core.ac.uk/download/pdf/639943651.pdf>
 45. Oktavia Dwi Nugraheni, Adharina Dian Pertiwi, Hasbi Sjamsir, Fitri Anjarwati. 2025. *Implementasi Sikap Toleransi Beragama melalui Metode Pembiasaan Pada Anak Usia 5-6 Tahun*. <https://aulad.org/index.php/aulad>
 46. Mahrani, Masruhim, Sjamsir, H. 2025. *Model Manajemen Pembelajaran Rabbani: Integrasi Nilai-Nilai Islam dalam Peningkatan Karakter Mahasiswa*.

PENGABDIAN PADA MASYARAKAT SEBAGAI NASUM 2016-2024

1. Advokasi Pengembangan AUD Holistik Integratif di Samarinda

2. TIM Penyusun Rencana Aksi Daerah PAUD HI Bontang
3. Desiminasi PAUD Berkualitas di Tabang, Kutai Kartanegara
4. Diseminasi Perangkat Pembelajaran AUD di masa Pandemi Covid19 di Kabupaten Mahakam Hulu, Mei 2021
5. Diseminasi Layanan Lembaga PAUD Holistik Integratif di Ujoh Bilang, Kabupaten Mahakam Hulu, Juni 2021
6. Diseminasi Manajemen Strategik Berbasis Kemitraan dalam Peningkatan Mutu Lulusan SMK, WEBINAR, Bontang, 2021
7. Diseminasi Pengembangan Perangkat Pembelajaran Bahasa Anak Usia 5-6 tahun melalui Bermain, Balikpapan-WEBINAR, 2021.
8. WEBINAR Bulan Bahasa. Manajemen dalam Pembelajaran Bahasa Indonesia, 2020.
9. WEBINAR NASIONAL Pengajaran Bahasa Inggris Untuk AUD, PAPUA, 2020
10. Sosialisasi Pola Pengasuhan AUD di Masa Pandemi Covid19 di Dikbud Kukar, 2020
11. Sosialisasi Komunikasi Efektif AUD di Masa Pandemi Covid19 di Dikbud Kukar, 2020
12. Sosialisasi tentang STUNTING dan Tumbuh Kembang AUD, pada Diklat Dasar Guru PAUD di KUKAR, 27 Nopember 2019.
13. Sosialisasi tentang Konsep Dasar PAUD di Era IR 4.0 pada Diklat Dasar Guru PAUD di Samarinda, 26 Nopember 2019.
14. Parenting Class. *Mindful Parenting Pattern*. Diklat Dasar Pendidik PAUD Samarinda, 25 Nopember, 2019
15. Parenting Program: Mendidik Anak di Era Digital. Peserta Komite Sekolah pada TK Sungai Kunjang, Samarinda. April, 2019
16. Sosialisasi Penguatan Kemampuan *Micro Teaching-Peer Teaching* Pendidik AUD di Kabupaten Kutai Timur, 2018

17. Sosialisasi Program Penguatan Ekosistem Pendidikan (Pelibatan Orang tua, Satuan PAUD dan Masyarakat) di Muara Wahau, 2018
18. Sosialisasi Asesmen Perkembangan AUD terhadap Pendidikan AUD di Muara Wahau, Kutim 2018
19. Sosialisasi Instrument Borang Akreditasi PAUD di Samarinda, 2017
20. Sosialisasi Penerapan Teori *Developmentally Appropriate Practice* terhadap Pendidik Paud di Paser Grogot tahun 2017
21. Sebagai Dosen Pembimbing Lapangan KKN Mahasiswa nagkatan 42/2016 (SK Rektor no 1061/SK/2016)
22. Sosialisasi Kurikulum PAUD, Kaltim 2016
23. Sosialisasi Pengajaran Bahasa untuk AUD di lembaga PAUD, 2016

ASSOSIASI / ORGANISASI KEANGGOTAAN 2016-2024

1. 2015-Sekarang: Asosiasi Pendidik Paud APG (Nasional)
2. 2016-Sekarang: FORUM PAUD KALTIM (Provinsi)
3. 2001-Sekarang: Masyarakat Linguistik Indonesia (Nasional)
4. 2012-Sekarang: IKACANA UNJ (Provinsi)
5. 2010-2021: Dewan Pendidikan Kaltim (Provinsi)
6. 2016-2021: Asesor BAN PNF PAUD (Nasional-Resigned)
7. 2020-2024: Asosiasi Pelatih Pendidik PAUD (APPAUDI) (Nasional)
8. On Process: International Association of Early Childhood Education / IAECE (Internasional)
9. 2021-2022: International Association of Early (Nasional)



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Ir. A. Syamad Ramayana, M.P.

PERFORMA BUAH KAKAO (*Theobroma cacao L.*)
PADA POSISI LERENG YANG BERBEDA DI
KABUPATEN KUTAI TIMUR

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Ir. H. A. Syamad Ramayana, M.P.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan	3
B. Ketersediaan Unsur Hara N, P, K, C Organik, dan pH Tanah pada Setiap Posisi Lereng	6
C. Performa Buah Kakao (<i>Theobroma cacao L.</i>) pada Setiap Posisi Lereng.....	10
D. Hubungan Iklim dan Performa Buah Kakao (<i>Theobroma cacao L.</i>)	16
E. Penutup	18
F. Rekomendasi.....	19
DAFTAR PUSTAKA.....	20
UCAPAN TERIMA KASIH	28
CURRICULUM VITAE	30

SINOPSIS

Tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu hasil produksi pertanian yang mempunyai peranan penting dalam mewujudkan program pembangunan pertanian, terutama dalam menyediakan kesempatan kerja, meningkatkan kesejahteraan petani, dan menambah devisa negara. Sebagian besar diusahakan skala kecil melalui perkebunan rakyat. Masalah umum yang dihadapi meliputi keterbatasan lahan pertanian, kerusakan akibat hama dan penyakit, kurangnya perhatian terhadap kebutuhan nutrisi, dan kualitas benih.

Pemanfaatan lahan yang mengabaikan aspek konservasi tanah akan berdampak pada penurunan produktivitas lahan, yang selanjutnya menyebabkan degradasi lahan. Sistem pemanfaatan lahan dapat dimodifikasi sesuai model, terutama dalam pemilihan tanaman tahunan yang bernilai ekonomis, yang dapat meningkatkan produktivitas lahan dan mengurangi laju erosi tanah.

Selain faktor tanah, iklim merupakan faktor penentu penting lain bagi pertumbuhan tanaman. Kondisi tanah sangat dipengaruhi oleh curah hujan, suhu, dan kelembaban. Pengaruh ini dapat menguntungkan, tetapi terkadang juga dapat merugikan. Tidak seperti faktor tanah yang telah dipelajari dan dipahami secara luas, cuaca dan iklim merupakan salah satu variabel yang paling sulit dikendalikan dalam bidang pangan. Informasi mengenai kesesuaian antara tanaman tahunan, iklim, dan tanah menjadi elemen penting dalam meningkatkan keberhasilan program penanaman. Kesesuaian antara iklim, komponen tanah, dan jenis tanaman yang ditanam sangat menentukan keberhasilan kegiatan penanaman.

Hasil penelitian posisi lereng terhadap kandungan hara tanah menunjukkan status rendah untuk N, sangat rendah sampai rendah untuk P, sedang sampai tinggi untuk K, C organik sedang sampai rendah dengan pH asam. Perbedaan posisi lereng menunjukkan perbedaan nyata pada parameter jumlah bunga dan jumlah biji, sedangkan pada jumlah buah, berat buah basah, dan berat biji basah tidak terdapat perbedaan yang nyata. Analisis korelasi menunjukkan adanya korelasi positif (0,343) antara performan buah kakao dan faktor iklim.



Bismillahirrahmannirrahim
Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yth. Ketua Senat Anggota Senat Universitas
Mulawarman
Yth. Rektor dan Wakil Rektor Universitas Mulawarman
Yth. Pejabat Struktural di lingkungan Universitas
Mulawarman
Yth. Para Guru Besar Universitas Mulawarman
Yth. Panitia Orasi dan Pengukuhan Guru Besar
Universitas Mulawarman
Yth. Para tamu undangan dan hadirin sekalian

Puji dan syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia yang sangat berlimpah khususnya kesempatan untuk hadir dan mengikuti acara pengukuhan pada hari ini.

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Mulawarman atas kesempatan yang diberikan untuk menyampaikan orasi berjudul “Performa Kakao (*Theobroma cacao* L.) Pada Posisi Lereng Yang Berbeda di Kabupaten Kutai Timur” ini.

A. Pendahuluan

Para hadirian semua yang kami hormati

Pembangunan sektor pertanian bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui peningkatan pendapatan dengan berpegang teguh pada asas keberlanjutan ekologis, produktivitas dan keuntungan ekonomi, serta penerimaan sosial. Tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu hasil produksi pertanian yang mempunyai peranan penting dalam mewujudkan program pembangunan pertanian, terutama dalam menyediakan kesempatan kerja, meningkatkan

kesejahteraan petani, dan menambah devisa negara [1].

Budidaya kakao di Indonesia sebagian besar dilakukan di perkebunan rakyat. Masalah umum yang dihadapi meliputi keterbatasan lahan pertanian, kerusakan akibat hama dan penyakit, kurangnya perhatian terhadap kebutuhan nutrisi, dan kualitas benih [2].

Pemanfaatan lahan yang mengabaikan aspek konservasi tanah akan berdampak pada penurunan produktivitas lahan, yang selanjutnya menyebabkan degradasi lahan. Sistem pemanfaatan lahan dapat dimodifikasi sesuai model, terutama dalam pemilihan tanaman tahunan yang bernilai ekonomis, yang dapat meningkatkan produktivitas lahan dan mengurangi laju erosi tanah [3], [4], [5], yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Iklim sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman. Keterkaitan tersebut terlihat melalui tiga aspek utama yaitu agronomi, fisiologi, dan agroklimatologi [6]. Pemahaman pengetahuan tentang bagaimana berbagai jenis tanaman, unsur iklim, dan sifat tanah sangat penting untuk memastikan keberhasilan pertumbuhan tanaman tertentu.

Pengembangan komoditas perkebunan di suatu wilayah berdasarkan tipe iklim, bentuk lahan, dan tanah diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pertanian dan mendorong perekonomian daerah [7]. Faktor potensial lain adalah kondisi agroekosistem yang meliputi kondisi geografis, penyinaran matahari, intensitas curah hujan, dan keanekaragaman tanah sangat mendukung dan berpotensi bagi pengembangan komoditas perkebunan [8], [9], [10].

Hasil dari spesies tanaman tertentu sangat dipengaruhi oleh interaksi faktor genetik dan faktor lingkungan, diantaranya jenis tanah, topografi, pengelolaan tanaman, pola iklim, dan teknologi [11], [13], [14], [15]. Berbagai faktor dapat menyebabkan rendahnya produktivitas atau penurunan hasil panen,

antara lain penurunan kesuburan tanah, perubahan iklim pertanian yang cepat, dan pengelolaan tanah yang tidak tepat dan tidak mematuhi kaidah konservasi tanah [16], [17], [18].

Tidak seperti faktor tanah yang telah dipelajari dan dipahami secara luas, cuaca dan iklim merupakan salah satu variabel yang paling sulit dikendalikan dalam usaha pertanian [7]. Informasi mengenai kesesuaian antara tanaman tahunan, iklim, dan tanah menjadi elemen penting dalam meningkatkan keberhasilan program penanaman. Kesesuaian antara iklim, komponen tanah, dan jenis tanaman yang ditanam sangat menentukan keberhasilan kegiatan penanaman.

Selain faktor tanah, iklim merupakan faktor penentu penting lain bagi pertumbuhan tanaman. Kondisi tanah sangat dipengaruhi oleh curah hujan, suhu, dan kelembaban. Pengaruh ini dapat menguntungkan, tetapi terkadang juga dapat merugikan. Tidak seperti faktor tanah yang telah dipelajari dan dipahami secara luas, cuaca dan iklim merupakan salah satu variabel yang paling sulit dikendalikan dalam bidang pangan. Informasi mengenai kesesuaian antara tanaman tahunan, iklim, dan tanah menjadi elemen penting dalam meningkatkan keberhasilan program penanaman. Kesesuaian antara iklim, komponen tanah, dan jenis tanaman yang ditanam sangat menentukan keberhasilan kegiatan penanaman.

Hasil penelitian posisi lereng terhadap kandungan hara tanah menunjukkan status rendah untuk N, sangat rendah sampai rendah untuk P, sedang sampai tinggi untuk K, C organik sedang sampai rendah dengan pH asam. Perbedaan posisi lereng menunjukkan berbeda nyata pada parameter jumlah bunga dan jumlah biji, sedangkan pada jumlah buah, berat buah basah, dan berat biji basah tidak terdapat perbedaan yang nyata. Analisis korelasi

menunjukkan adanya korelasi positif (0,343) antara performan buah kakao dan faktor iklim.

B. Ketersediaan Unsur Hara N, P, K, C Organik, dan pH Tanah pada Setiap Posisi Lereng

Para hadirian semua yang kami hormati

Ketersediaan unsur hara N, P, K, C Organik, dan pH tanah pada posisi lereng bagian bawah, tengah, dan atas ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Ketersediaan unsur hara N, P, K, C Organik, dan pH tanah pada posisi lereng bagian bawah, tengah, dan atas

Posisi Lereng	Parameter Kimia Tanah	Nilai Kimia Tanah	Satuan	Status
Bagian Bawah	N	0.20	%	Rendah
	P	10.64	ppm	Rendah
	K	104.61	ppm	Sangat Tinggi
	C organik	5.43	-	Asam
	pH	2.12	-	Sedang
Bagian Tengah	N	0.15	%	Rendah
	P	3.95	ppm	Sangat Rendah
	K	67.38	ppm	Sangat Tinggi
	C organik	5.38	-	Asam
	pH	1.74	-	Rendah
Bagian Atas	N	0.11	%	Rendah
	P	1.72	ppm	Sangat Rendah
	K	35.46	ppm	Sedang
	C organik	5.23	-	Asam
	pH	1.61	-	Rendah

Sumber: Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Data setelah diolah berdasarkan status kimia tanah PPT Bogor.

Hasil analisis kimia tanah menunjukkan bahwa lereng bawah lebih baik daripada lereng tengah dan atas. Hal ini disebabkan oleh pencucian, limpasan permukaan, dan erosi tanah, yang mengangkut nutrisi terlarut bersama dengan partikel tanah dan bahan organik. Seperti yang dinyatakan oleh penelitian

sebelumnya [19], [20], hilangnya nutrisi akibat pencucian mengakibatkan pergerakan nutrisi ke bawah ke zona akar dan posisi lereng bawah.

Sementara itu, bahan organik sangat mempengaruhi kesuburan tanah [21], bahan organik memang sangat penting bagi keberhasilan budidaya tanaman [22]. Bahan organik mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kesuburan kimia, fisik, dan biologi tanah. Proses penguraian bahan organik pada lahan tanpa olah tanah dan olah tanah maksimal akan melepaskan asam-asam organik sehingga menyebabkan tanah menjadi sedikit masam dibandingkan dengan teknik olah tanah minimal [23].

Kandungan Nitrogen (N)

Status kimia Nitrogen (N) pada ketiga posisi lereng tergolong rendah. Namun, terdapat kecenderungan kandungan N tertinggi terdapat pada posisi lereng bawah sebesar 0,20%, diikuti oleh posisi lereng tengah sebesar 0,15%, dan terendah pada posisi lereng atas sebesar 0,11%.

Kondisi ini erat kaitannya dengan tingginya kandungan karbon organik (C-organik) pada posisi lereng bawah. Sementara itu, kandungan N tanah berbanding lurus dengan kandungan bahan organiknya [24]. Nitrogen merupakan nutrisi penting yang digunakan dalam jumlah besar oleh semua bentuk kehidupan. Nitrogen dikelompokkan menjadi nitrogen organik dan nitrogen anorganik, tetapi sebagian besar nitrogen dalam tanah berada dalam bentuk organik [20]. Pengurangan atau hilangnya nitrogen dari tanah terjadi tidak hanya melalui pencucian oleh air hujan (dalam bentuk NO_3^-) tetapi juga karena pemanfaatannya oleh tanaman dan mikroorganisme [25].

Kandungan Fosfor (P)

Posisi lereng bawah memiliki kandungan fosfor (P) sebesar 10,64 ppm (rendah), lebih tinggi dibandingkan

posisi lereng tengah dengan 3,95 ppm (sangat rendah) dan posisi lereng atas dengan 1,72 ppm (sangat rendah). Kandungan P tersedia yang tinggi di lereng bawah diduga karena adanya pengangkutan unsur hara tanah dari posisi lereng atas dan tengah, beserta air saat hujan.

Sementara itu, rendahnya kandungan fosfor (P) pada posisi lereng atas dan tengah diduga disebabkan oleh adanya fraksi liat yang relatif tinggi. Braskerud [26] menyatakan bahwa faktor yang mempengaruhi retensi P dalam tanah antara lain adalah kandungan liat. Kapasitas retensi fosfat meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi liat dalam tanah. Mineral liat kaolinit cenderung menyerap lebih banyak P dibandingkan dengan mineral liat montmorillonit [27]. Hal ini disebabkan karena mineral liat kaolinit memiliki lebih banyak gugus OH terbuka pada lapisan Al, yang dapat dipertukarkan dengan P.

Kandungan Kalium (K)

Kandungan kalium (K) tanah pada posisi lereng bawah, lereng tengah, dan lereng atas masing-masing sebesar 104,61 ppm (sangat tinggi), 67,38 ppm (sangat tinggi), dan 35,46 ppm (sedang). Posisi lereng bawah memiliki kandungan K yang lebih tinggi dibandingkan dengan posisi lereng tengah dan atas. Hal ini diduga karena adanya aliran air dari lereng atas dan tengah pada saat hujan sehingga mengakibatkan terkumpulnya air pembawa unsur hara pada lereng bawah.

Hilangnya K dari tanah terjadi melalui pelindian ke arah air tanah, limpasan permukaan, dan erosi tanah yang membawa K terlarut bersama partikel tanah dan bahan organik [28]. Kehilangan K melalui pencucian terjadi akibat pemberian K dosis tinggi secara terus menerus yang melebihi daya serap tanaman dan kapasitas retensi K tanah [29], sehingga mengakibatkan pergerakan K ke bawah menuju ke zona akar [20].

Kandungan C Organik

Kandungan karbon organik tanah pada posisi lereng bawah sebesar 2,12% (sedang) lebih tinggi dibandingkan dengan posisi lereng tengah sebesar 1,74% (rendah) dan posisi lereng atas sebesar 1,21% (rendah). Tingginya kandungan karbon organik pada posisi lereng bawah diduga karena berfungsi sebagai tempat pengendapan material hasil erosi dari posisi lereng tengah dan atas, meliputi partikel tanah, unsur hara, dan bahan organik. Menurut Banjarnahor dkk [19], erosi yang disebabkan oleh air mengakibatkan terjadinya pengangkutan partikel tanah, unsur hara tanaman, dan bahan organik.

Tingginya kandungan karbon organik menunjukkan tingginya kadar bahan organik tanah. Bahan organik memegang peranan penting dalam kesuburan tanah [21]. Bahan organik tanah terdiri dari senyawa organik kompleks yang sedang mengalami proses dekomposisi, termasuk humus dari humifikasi dan senyawa anorganik dari mineralisasi. Bahan organik merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan budidaya tanaman [22]. Hal ini dikarenakan bahan organik dapat meningkatkan kesuburan kimia, fisika, dan biologi tanah.

pH tanah

Nilai pH tanah pada ketiga posisi lereng tergolong masam. Posisi lereng bawah cenderung memberikan nilai pH lebih tinggi (5,43) dibandingkan dengan posisi lereng tengah (5,38) dan posisi lereng atas (5,23). Nilai pH yang ekstrim akan menurunkan aktivitas mikroba dalam tanah yang selanjutnya akan menyebabkan penurunan dekomposisi karbon organik dan nitrifikasi [30]. Nilai pH yang lebih tinggi pada posisi lereng bawah diduga berhubungan dengan kandungan karbon organik yang tinggi pada lereng bawah.

Nilai karbon organik yang tinggi menunjukkan tingginya kadar bahan organik tanah. Bahan organik

tanah mengandung asam-asam organik yang dapat mengikat ion H^+ sehingga menyebabkan keasaman tanah dan akibatnya pH tanah menjadi rendah. Penelitian terdahulu [31], [32] menyebutkan bahwa asam-asam organik dapat mengikat ion H^+ melalui gugus karboksil yang bermuatan negatif.

Fluktuasi pH tanah dan menemukan bahwa hal tersebut terutama dipengaruhi oleh keberadaan ion H^+ dan OH^- . Peningkatan ion H^+ menyebabkan penurunan pH, sehingga membuat tanah lebih asam. Sebaliknya, peningkatan ion OH^- mengakibatkan peningkatan pH, yang membuat tanah lebih basa [33]. Cookson dkk [24] mengembangkan pemahaman ini dengan menjelaskan implikasi pH tanah pada pertumbuhan tanaman, khususnya selama tahap pembungaan. Kondisi tanah yang sedikit asam, nutrisi dalam tanah masih dapat diproses dan diserap oleh tanaman secara efektif. Ini berarti bahwa tanaman masih mampu menyerap nutrisi penting dari tanah, meskipun sedikit asam.

C. Performa Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) pada Setiap Posisi Lereng

Para hadirian semua yang kami hormati

Posisi lereng yang lebih rendah mempunyai kandungan hara yang lebih tinggi sehingga memberikan performa buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) yang lebih baik dilihat dari jumlah bunga yang terbentuk, panjang buah, diameter buah, jumlah buah, berat basah buah, jumlah biji dan berat basah biji. Tanaman dapat tumbuh optimal apabila kebutuhan haranya terpenuhi. Hara N, P dan K merupakan unsur hara yang sangat dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi [34].

Performa buah kakao (*Theobroma cacao* L.) pada setiap posisi lereng bagian bawah, tengah, dan atas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Performa buah kakao (*Theobroma cacao L.*) pada setiap posisi lereng bagian bawah, tengah, dan atas

Posisi Lereng	Rata-rata Jumlah Bunga (putik)	Rata-rata Panjang Buah (cm)	Rata-rata Diameter Buah (cm)	Rata-rata Jumlah Buah (buah)	Rata-rata Berat Basah Buah (g)	Rata-rata Jumlah Biji per Buah (biji)	Rata-rata Berat Basah Biji per Buah (g)
Bagian Bawah	68,17 a	14,52	7,73	15,00	420,07	35,07 a	245,93 a
Bagian Tengah	41,43 b	13,58	7,53	15,00	358,22	33,10 a	241,13 a
Bagian Atas	29,49 c	12,79	7,28	16,00	248,64	26,16 b	321,31 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom yang sama, menunjukkan berbeda tidak nyata

Ketersediaan unsur hara N, P, dan K yang merupakan unsur hara makro sangat penting dalam menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman [35]. Nitrogen berperan sebagai penyusun protein, asam amino, asam nukleat, vitamin, dan enzim, faktor klorofil pada daun, sebagai bahan dasar DNA, RNA, dan seluruh fungsi biologis tanaman. Fosfor memiliki banyak fungsi pada tanaman, antara lain untuk mendorong pembelahan sel, membentuk albumin, membantu pembentukan bunga dan buah, mempercepat pematangan, meningkatkan kekuatan batang, mendukung perkembangan akar, memperlancar metabolisme karbohidrat, dan meningkatkan kualitas tanaman secara keseluruhan. Kalium berperan sebagai aktivator berbagai enzim dalam proses metabolisme dan memacu translokasi karbohidrat dari daun ke organ tanaman [36], perkembangan akar, pembentukan pati, dan proses fisiologis.

Rata-rata jumlah bunga (Putik)

Jumlah bunga lebih banyak pada posisi lereng bawah dibandingkan pada posisi lereng tengah dan atas. Selama fase generatif, proses pembungaan dipengaruhi

oleh keberadaan fosfor dan kalium, sedangkan nitrogen sebagian besar dibutuhkan pada fase vegetatif. Meningkatnya keberadaan fosfor di area lereng bawah meningkatkan pertumbuhan bunga tambahan dibandingkan dengan lereng tengah dan atas.

Pertumbuhan dan pembungaan tanaman sangat dipengaruhi oleh keberadaan unsur hara, khususnya fosfor (P). Unsur esensial ini berperan penting dalam memicu fase generatif tanaman, yang mengarah pada pembentukan primordia bunga yang akhirnya berubah menjadi bunga [37]. Fosfor (P) berperan dalam pembentukan bunga, dan defisiensi P dapat menekan jumlah bunga dan menunda inisiasi pembungaan karena perubahan keseimbangan fitokrom [38].

Tingkat keasaman tanah (pH) juga diduga mempengaruhi proses pembentukan bunga. Posisi lereng bawah, tengah, dan atas termasuk dalam kategori asam namun masih dalam batas toleransi bagi tanaman untuk menjalani proses pembentukan bunga. Kondisi pH tanah yang asam, unsur hara yang tersedia dalam tanah masih dapat diolah secara efektif oleh tanah dan diserap oleh tanaman pada saat proses pembungaan [39].

Rata-rata panjang buah (cm), diameter buah (cm), dan jumlah buah (buah)

Hasil analisis varians menunjukkan bahwa panjang buahnya tidak jauh berbeda. Hal ini diduga karena posisi lereng tidak mempengaruhi jumlah buah karena kalium sangat tinggi tetapi tidak cukup signifikan untuk secara langsung menyebabkan buah kakao dalam jumlah banyak.

Proses pertumbuhan jumlah buah tentunya dipengaruhi oleh faktor lingkungan, fisiologi, dan genetika tanaman. Menurut Hapsari et al [40], jumlah buah sering diamati sebagai ukuran pertumbuhan tanaman dan sebagai parameter yang digunakan

untuk mengukur pengaruh lingkungan atau perlakuan yang diberikan.

Posisi lereng bawah cenderung menghasilkan buah yang lebih panjang, diameter buah lebih lebar, dan jumlah buah lebih banyak. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kandungan fosfor dan kalium yang lebih tinggi di area tersebut dibandingkan dengan posisi lereng tengah dan atas. Hasilnya, buah yang lebih panjang, diameter buah lebih lebar, dan jumlah buah lebih banyak akan terbentuk.

Tanaman tidak akan menghasilkan hasil yang maksimal apabila unsur hara yang dibutuhkan tidak tersedia, dan ketersediaan unsur hara merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil produksi suatu tanaman [41]. Unsur hara N, P, dan K merupakan unsur hara makro yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman [35]. Unsur hara fosfor dan kalium dapat meningkatkan ukuran buah, biji, dan umbi yang dipanen [42].

Unsur hara N, P, dan K pada tanaman jagung akan ditranslokasikan pada saat pembentukan tongkol dan pengisian biji sehingga diameter tongkol akan bertambah [43]. Peran unsur hara fosfor pada pembentukan bunga mempengaruhi pembentukan dan ukuran tongkol karena tongkol merupakan perkembangan dari bunga betina [44]. Menurut Isnaeni [45], tanaman jagung yang kekurangan unsur hara N dan P mengakibatkan perkembangan tongkol tidak sempurna. Ukuran lingkaran tongkol mempengaruhi hasil karena semakin besar lingkaran tongkol maka bobot buah tanaman akan semakin besar.

Rata-rata Berat Basah Buah (g)

Hasil analisis varians menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dalam berat basah. Meskipun demikian, tampak bahwa buah dari lereng bawah cenderung lebih berat daripada buah dari lereng tengah dan atas. Hal ini dapat terjadi karena posisi lereng bawah memiliki lebih banyak unsur hara seperti

N, P, dan K, yang berkontribusi terhadap buah yang lebih berat.

Selain itu, berat buah juga dipengaruhi oleh proses pemindahan hasil fotosintesis ke dalam buah. Ketika sistem akar tanaman dapat menyerap lebih banyak nutrisi dari tanah, maka hal itu akan membantu buah tumbuh lebih besar dan lebih berat. Hal ini terjadi karena lebih banyak fotosintat yang diangkut ke dalam buah [46]. Berat adalah cara untuk mengukur kemajuan dan perkembangan tanaman. Hal ini karena berat mewakili penumpukan zat organik yang telah dibuat tanaman secara efektif. Ini berfungsi sebagai indikator kesehatan tanaman secara keseluruhan dan dapat menentukan apakah pertumbuhan dan perkembangannya berkembang atau mengalami kesulitan. Selain itu, berat terkait erat dengan ketersediaan nutrisi, menjadikannya faktor penting untuk dipertimbangkan [47].

Unsur N, P, dan K yang tersedia dalam tanah berperan dalam merangsang proses pembungaan, dan apabila bunga mengalami penyerbukan yang berhasil maka pertumbuhan buah akan maksimal. Proses generatif dipengaruhi oleh jumlah daun yang terbentuk karena proses fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat terjadi di daun. Selanjutnya karbohidrat ($C_6H_{12}O_6$) yang dihasilkan akan disimpan sebagai cadangan makanan. Fotosintesis yang dihasilkan di daun dan sel fotosintetik lainnya harus ditranslokasi ke organ atau jaringan lain untuk dimanfaatkan untuk pertumbuhan atau disimpan sebagai cadangan makanan [48].

Peran utama kalium pada tanaman adalah sebagai aktivator berbagai enzim yang terlibat dalam proses metabolisme dan mendorong translokasi karbohidrat dari daun ke organ tanaman [49]. Sementara itu, fosfor berperan dalam pertumbuhan dan hasil tanaman [27]. Nitrogen, seperti yang disebutkan dalam penelitian sebelumnya [3], [50], sangat penting untuk pertumbuhan vegetatif,

pembentukan karbohidrat, protein, lemak, dan senyawa organik lainnya.

Keasaman tanah (pH) juga mempengaruhi hasil panen karena hubungannya dengan ketersediaan unsur hara. pH tanah memegang peranan penting dalam menjaga keseimbangan unsur hara dan kesuburan tanah [51]. Kondisi optimal bagi tanaman adalah ketika pH tanah bersifat netral karena hampir semua unsur hara tersedia bagi tanaman, sehingga mendukung produksi yang optimal.

Rata-rata jumlah biji per buah (Biji) dan rata-rata berat basah biji per buah (g)

Hasil sidik ragam menunjukkan perbedaan yang nyata dalam jumlah biji per buah, dengan lereng bawah memiliki jumlah tertinggi dibandingkan dengan lereng tengah dan atas. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingkat nutrisi yang lebih tinggi seperti N, P, dan K di lereng bawah.

Ketersediaan unsur hara N, P, dan K mempengaruhi pembentukan buah dan biji, sebagaimana yang dikemukakan oleh Raihan [42] menunjukkan bahwa N, P, dan K mempunyai pengaruh terhadap ukuran dan jumlah buah serta biji yang dihasilkan. Panjang buah menunjukkan kepadatan biji dan berhubungan erat dengan jumlah biji per buah, dengan kecenderungan buah yang lebih besar akan menghasilkan lebih banyak biji [40]. Sharar et al [52] jumlah dan berat biji bertambah seiring dengan tersedianya unsur hara tertentu [52].

Panjang dan diameter tongkol mempengaruhi hasil karena lingkaran buah yang lebih besar menunjukkan bobot buah yang lebih besar. Ketersediaan unsur hara erat kaitannya dengan proses pengisian biji [40]. Penyerapan unsur hara yang terkumpul di daun akan diubah menjadi protein dan berperan dalam proses pembentukan biji. Akumulasi bahan-bahan hasil metabolisme pada saat pembentukan biji akan semakin banyak, sehingga

menghasilkan biji dengan ukuran dan bobot yang maksimal. Proses metabolisme berjalan optimal apabila kebutuhan unsur hara terpenuhi.

Keasaman tanah (pH) juga mempengaruhi jumlah biji yang dihasilkan. Ketersediaan unsur hara N, P, dan K dalam tanah dapat diuraikan dan diserap tanaman secara efektif karena didukung oleh pH tanah yang lebih tinggi. Posisi lereng bawah cenderung memiliki pH tanah yang lebih tinggi karena bahan organik dan air mengalir ke lereng di bawahnya [20]. Dengan nilai pH tanah tersebut, ketersediaan unsur hara makro dimungkinkan dapat diserap dengan mudah, meskipun ketersediaannya rendah.

Ruseani et al [53] menyatakan bahwa nitrogen dibutuhkan dalam jumlah sedikit untuk pembentukan biji buah kakao dibandingkan dengan unsur hara makro. Jumlah nitrogen terbesar dibutuhkan pada fase generatif karena nitrogen berperan krusial dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman [54]. Fosfor terlibat dalam banyak proses penting pada tumbuhan. Fosfor membantu fotosintesis, yaitu cara tumbuhan membuat makanan menggunakan sinar matahari. Fosfor juga berperan dalam respirasi, yaitu cara tumbuhan melepaskan energi dari makanan [49]. Fosfor penting untuk mentransfer dan menyimpan energi pada tumbuhan, untuk pembelahan dan pembesaran sel, meningkatkan kualitas buah, sayur, biji-bijian, dan benih. Juga terlibat dalam pembentukan sifat genetik dan membantu akar berkembang serta benih berkecambah lebih cepat serta Fosfor juga membantu tumbuhan menggunakan air lebih efisien dan membuatnya lebih tahan terhadap penyakit [50].

D. Hubungan Iklim dan Performa Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*)

Para hadirian semua yang kami hormati

Hasil uji korelasi menunjukkan adanya korelasi positif (0,343) antara performa buah kakao dan komponen iklim seperti curah hujan, lama penyinaran matahari, suhu dan kelembaban udara (data runtut waktu 2011-2020). Informasi mengenai kesesuaian faktor iklim dan tanah bagi tanaman tahunan sangat penting untuk diketahui. Persyaratan umum faktor iklim dan tanah bagi tanaman tahunan biasanya meliputi kisaran curah hujan tahunan 500 sampai 3000 mm, suhu udara bulanan 15-34°C, kelembaban udara bulanan 70-90%, dan pH 4,0-8,5 [19].

Karakteristik dan jenis iklim dapat menentukan jenis dan produksi tanaman yang dapat tumbuh dengan baik di suatu wilayah, sehingga kajian klimatologi dalam bidang pertanian sangat diperlukan [11], [12]. Beberapa unsur iklim yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah curah hujan, suhu, kelembaban, sinar matahari, dan evapotranspirasi [55].

Kakao (*Theobroma cacao* L.) tumbuh optimal di wilayah hutan tropis [56], terutama pada garis lintang 10° LU hingga 10° LS, ketinggian 0-600 meter di atas permukaan laut, curah hujan tahunan 1500-2500 mm, suhu minimum 18-30 °C, dan curah hujan tahunan 1500-2500 mm. 21°C dan suhu maksimum 30-32°C, dengan suhu rata-rata tahunan yang diinginkan 25-27°C, kelembaban udara 80%, cahaya matahari antara 50-70%, kemiringan lereng dibawah 45 derajat, tekstur tanah lempung berpasir, lempung berpasir, dan lempung berpasir, serta pH 6,0-7,5.

Kalimantan Timur beriklim tropis lembab, dengan intensitas cahaya matahari harian berkisar 40-80% (langit selalu berawan), suhu udara harian antara 26-27°C (kisaran antara 20-32°C), kelembaban udara sekitar 80%, dengan curah hujan tahunan berkisar antara 2,000-4,000 mm [57]. Dengan mempertimbangkan kondisi iklim tersebut, tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) sesuai untuk dibudidayakan karena mempunyai persyaratan

tumbuh yang sesuai dengan karakteristik iklim daerah Kalimantan Timur.

Secara umum, curah hujan, radiasi matahari, suhu dan kelembaban tanah berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman[20]. Curah hujan merupakan sumber air, radiasi matahari merupakan unsur penting dalam proses fotosintesis, begitu juga dengan suhu udara [58], [59].

Suhu tanah yang lebih tinggi menyebabkan penyerapan air lebih cepat oleh akar tanaman karena peningkatan aktivitas metabolisme dan penguapan yang lebih cepat. Tanah yang hangat juga memiliki viskositas dan tegangan permukaan yang lebih rendah, sehingga air mengalir lebih mudah melalui pori-pori tanah. Penurunan suhu tanah yang tiba-tiba dapat menyebabkan tanaman layu karena akar menyerap lebih sedikit air saat suhu rendah. Kedalaman tanah menentukan variasi suhu tanah [58].

Kelembaban tanah sangat penting bagi pertumbuhan tanaman dan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti curah hujan, komposisi tanah, dan evapotranspirasi [19]. Curah hujan mengisi kembali kandungan air tanah, dengan curah hujan yang lebih tinggi menyebabkan tingkat kelembaban tanah yang lebih tinggi. Jenis tanah yang berbeda memiliki kapasitas menahan air yang berbeda-beda, yang memengaruhi kemampuannya untuk mempertahankan kelembaban [60]. Evapotranspirasi mempengaruhi kadar air tanah. Semakin tinggi kadarnya, semakin besar pula kehilangan air dari tanah. Kelembapan tanah sangat penting bagi pertumbuhan tanaman karena menentukan ketersediaan air bagi tanaman.

E. Penutup

1. Ketersediaan unsur hara pada posisi lereng bawah, tengah, dan atas menunjukkan kadar nitrogen (rendah), fosfor (sangat rendah hingga rendah),

- kalium (sedang hingga sangat tinggi), karbon organik (rendah hingga sedang), dan pH (asam).
2. Performa buah kakao (*Theobroma cacao* L.) pada posisi lereng yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata pada jumlah bunga, jumlah biji, dan berat basah biji per buah. Sementara itu, panjang buah, diameter buah, jumlah dan berat basah buah tidak berbeda nyata. Posisi lereng bawah memberikan performa buah kakao (*Theobroma cacao* L.) terbaik.
 3. Hasil uji korelasi menunjukkan adanya korelasi positif (0,343) antara performa buah kakao dan komponen iklim seperti curah hujan, lama penyinaran matahari, suhu dan kelembaban udara.

F. Rekomendasi

1. Kegiatan program pendampingan diperlukan untuk membina petani dalam pengelolaan kebun kakao agar memperoleh produksi yang maksimal
2. Rekayasa genetika untuk mendapatkan klon yang unggul dengan melakukan persilangan antara klon yang telah beradaptasi baik dengan lingkungan daerah dengan klon yang memiliki sifat kualitas dan kuantitas hasil yang tinggi.
3. Tindakan konservasi tanah dan air diperlukan untuk mencegah terjadinya erosi pada kebun kakaoaya.

Mohon maaf atas keterbatasan dalam penyampaian orasi ini. Terima kasih atas perhatian Bapak dan Ibu semua. Semoga Allah SWT selalu melindungi dan merahmati kita semua. Aamiin Ya Rabbal Alamin. Alhamdulillah rabbi 'alamin.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Waris, I and Anshary, A. 2023. Implementation Of the National Movement Program To Increase The Production And Quality Of Cocoa Plants In Sigi District, *Int. J. Soc. Sci. Educ. Commun. Econ. (SINOMICS JOURNAL)*, 1(6): 881–892, doi: 10.54443/sj.v1i6.100.
- [2] de Boer, D., Limpens, G., Rifin, A and Kusnadi, A. 2019. Inclusive productive value chains, an overview of Indonesia's cocoa industry, *J. Agribus. Dev. Emerg. Econ.*, 9(5): 439–456, doi: 10.1108/JADEE-09-2018-0131.
- [3] Nurdin, Maspeke, P., Ilahude, Z dan Zakaria, F. 2009. Pertumbuhan dan Hasil Jagung yang Dipupuk N, P, dan K pada Tanah Vertisol Isimu Utara Kabupaten Gorontalo, *J. Trop. SOILS*, 14(1): 49–56, doi: 10.5400/jts.2009.v14i1.49-56.
- [4] Gadana, D.B., Sharma, P.D and Selfeko, D.T. 2020. Effect of Soil Management Practices and Slope on Soil Fertility of Cultivated Lands in Mawula Watershed, Loma District, Southern Ethiopia, *Adv. Agric.*, 20:1–13, doi: 10.1155/2020/8866230
- [5] Karyati, Sarminah, S., Karmini, Rujehan, Lestari, and Panorama, W.S. 2019. Silvicultural, hydro-orological and economic aspects of a combination of vegetative (*Falcataria moluccana-Vigna cylindrica*) and terrace systems in soils of different slopes,” *Biodiversitas*, 20(8): 2308–2315, doi: 10.13057/biodiv/d200828.
- [6] Hatfield, J.L. 2011. Climate impacts on agriculture: Implications for crop production, *Agron. J.*, 103(2): 351–370, doi: 10.2134/agronj2010.0303.
- [7] Bagbohouna, M., Ragatoa, D.S., Simon, S.O and Edjame, I.K. 2020. Rainfall and temperature predictions: Implications for rice production in the lower river region of the Gambia,” *Univers. J. Agric. Res.*, 8(4): 97–123, doi: 10.13189/ujar.2020.080403.
- [8] Jayanti, D.S., Goenadi, dan Hadi, P. 2013. Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Optimasi Penggunaan

- Lahan untuk Pengembangan Tanaman Kakao (*Theobroma cacao L.*) (Studi Kasus di Kecamatan Batee dan Kecamatan Padang Tiji Kabupaten Pidie Propinsi Aceh), *Agritech J. Fak. Teknol. Pertan. UGM*, 33(2): 208–218, doi: 10.22146/agritech.9808.
- [9] Minifie, B.M. 1989. Chocolate, Cocoa and Confectionery: Science and Technology,” *Choc. Cocoa Confect. Sci. Technol.*, doi: 10.1007/978-94-011-7924-9.
- [10] Chakraborty, S and Newton, A.C. 2011. Climate change, plant diseases and food security: An overview,” *Plant Pathology*, 60(1): 2–14, 2011, doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x.
- [11] Hazriyal, A. Anhar, and Karim, A. 2015. Evaluasi Karakteristik Lahan Dan Produksi Kakao di Kecamatan Peudawa dan Peunaron Kabupaten Aceh Timur,” *J. Manaj. Sumberd. Lahan*, 4(1): 579–590, 2015, doi: <https://jurnal.usk.ac.id/MSDL/article/view/7162/5873>.
- [12] Ramayana, S., Idris, S.D., Rusdiansyah, Faizin, D.N dan Syahfari, H. 2022. Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays L.*) Dengan Pengayaan Mikoriza Dan Pupuk Majemuk Pada Lahan Pasca Tambang Batubara, *Agrika*, 16(1): 55–68, doi: 10.31328/ja.v16i1.3710.
- [13] Reineccius, G.A., Andersen, D.A., Kavanagh, T.E and Keeney, P.G. 2002. Identification and Quantification of the Free Sugars in Cocoa Beans, *J. Agric. Food Chem.*, 20(2): 199–202, 1972, doi: 10.1021/jf60180a033.
- [14] Adamczyk, D and Wolf, W.M. 2022. The Impact of Soil pH on Heavy Metals Uptake and Photosynthesis Efficiency in *Melissa officinalis*, *Taraxacum officinalis*, *Ocimum basilicum*, *Molecules*, 27(15): 4671–4682, doi: 10.3390/molecules27154671.
- [15] Sudibyo, J and Kosasih, A.S. 2011. Analisa Kesesuaian Lahan Hutan Rakyat Di Desa Tambak Ukir, Kecamatan Kendit Kabupaten Situbondo,” *J. Penelit. Hutan Tanam.*, vol. 8, no. 2, pp. 125–133, 2011, doi: 10.20886/jpht.2011.8.2.125-133.
- [16] Maroeto, A.F., Santoso, W and Siswanto, R.P. 2022. Assessment of Land Suitability Evaluation for

- Plantation Crops Using AHP-GIS Integration in the Wonosalam Forest Area, East Java, *Univers. J. Agric. Res.*, 10(5): 569–586, doi: 10.13189/ujar.2022.100512.
- [17] Fageria, N.K., Baligar, V.C and Jones, C.A. 2010. Growth and mineral nutrition of field crops, third edition, *Growth Miner. Nutr. F. Crop. Third Ed.*, doi: 10.1201/b10160.
- [18] Loehle, C. 2011. Criteria for assessing climate change impacts on ecosystems, *Ecol. Evol.*, 1(1): 63–72, doi: 10.1002/ece3.7.
- [19] Banjarnahor, N., Hindarto, K.S dan Fahrurrozi, F. 2018. Hubungan Kelerengan Dengan Kadar Air Tanah, Ph Tanah, Dan Penampilan Jeruk Gerga Di Kabupaten Lebong, *J. Ilmu-Ilmu Pertan. Indones.*, 20(1): 13–18, doi: 10.31186/jipi.20.1.13-18.
- [20] Sandil, A.N., Montolalu, N dan Kawulusan, R.I. 2021. Kajian Sifat Kimia Tanah pada Lahan Belerang Tanaman Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.) Di Salurang Kecamatan Tabukan Selatan Tengah, *Soil Environ.*, 21(3): 18–23, 2021, doi: 10.35791/se.21.3.2021.36687.
- [21] Susilawati, Budhisurya, E., Anggono, R.C.W and Simanjuntak, B.H. Analisis Kesuburan Tanah Dengan Indikator Mikroorganisme Tanah Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan Di Plateau Dieng, *Agric*, 25(1): 64–72, 2016, doi: 10.24246/agric.2013.v25.i1.p64-72.
- [22] Lesmanasari, M and Barunawati, N. 2022. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Seledri (*Apium graveolens* L.) pada Pemberian Dosis Nitrogen dan Bahan Organik, *Produksi Tanam.*, 10(10): 562–569, doi: 10.21776/ub.protan.2022.010.10.05.
- [23] Kusairi, D., Sunarti, and Aswandi. 2022. Improvement of Some Soil Chemical Properties Onmarginal Lands to Increase Corn Productionthrough Conservation Tillage Techniques Andorganic Fertilizers, *Int. J. Adv. Technol. Eng. Inf. Syst.*, 1(4): 89–101, 2022, doi: 10.55047/ijateis.v1i4.483.
- [24] Cookson, W.R., Cornforth, I.S and Rowarth, J.S. 2002. Winter soil temperature (2–15°C) effects on nitrogen transformations in clover green manure

- amended or unamended soils; A laboratory and field study, *Soil Biol. Biochem.*, 34(10): 1401–1415, 2002, doi: 10.1016/S0038-0717(02)00083-4.
- [25] Cameron, K.C., Di, H.J and Moir, J.L. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review,” *Annals of Applied Biology*, 162(2): 145–173, 2013, doi: 10.1111/aab.12014.
- [26] Braskerud, B.C. 2002. Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution, *Ecol. Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 41–61, 2002, doi: 10.1016/S0925-8574(02)00014-9.
- [27] Bar-Yosef, B., Rosenberg, R., Kafkafi, U and Sposito, G. 1998. Phosphorus Adsorption by Kaolinite and Montmorillonite: I. Effect of Time, Ionic Strength, and pH, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52(6): 1580–1585, 1988, doi: 10.2136/sssaj1988.03615995005200060011x.
- [28] Alakukku, L.E and Turtola, E. 2010. Surface runoff and soil physical properties as affected by subsurface drainage improvement of a heavy clay soil, *XVIIth World Congr. Int. Commi Biosyst. Enssion Agric. gineering*, pp. 1–8, doi: 10.13031/2013.32135.
- [29] Olson, B>M and Papworth, L.W. 2006. Soil chemical changes following manure application on irrigated alfalfa and rainfed timothy in southern Alberta,” *Can. J. Soil Sci.*, 86(1): 119–132, 2006, doi: 10.4141/S05-024.
- [30] Soumya, L., Poovathingal, K.R., Williams, G.P., Chandra, D and Kunnummal, S.V. 2022. Evaluation of the Concentration of Phytotoxic Chemicals and Microbial Load of the Vermicompost Prepared from Coffee Processing Waste, *Univers. J. Agric. Res.*, 10(6): 731–748, 2022, doi: 10.13189/ujar.2022.100613.
- [31] Pasaribu, N.R., Fauzi, F dan Hanafiah, A.S.2018. Aplikasi Beberapa Bahan Organik dan Lamanya Inkubasi Dalam Meningkatkan P-Tersedia Tanah Ultisol,” *Talent. Conf. Ser. Agric. Nat. Resour.*, 1(1): 110–117, doi: 10.32734/anr.v1i1.129.
- [32] Septianugraha, R dan Suriadikusumah. 2019. Pengaruh Penggunaan Lahan Dan Kemiringan

- Lereng Terhadap C-Organik Dan Permeabilitas Tanah Di Sub Das Cisangkuy Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, *Agrin*, 18(2): 158–166, doi: 10.20884/1.agrin.2014.18.2.221
- [33] Bayer, C., Martin, N., Mielniczuk, J., Pillon, C.N and Sangoi, L. 2001. Changes in Soil Organic Matter Fractions under Subtropical No-Till Cropping Systems, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65(5): 1473–1478, doi: 10.2136/sssaj2001.6551473x.
- [34] Balakrishnan, S., Srinivasan, M and Santhanam, P. 2016. Interactions of nutrients, plant growth and herbivory in a Parangipettai mangrove ecosystem of the Vellar estuary, Southeast coast of India, *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 5: doi: 10.1016/j.rsma.2016.01.001.
- [35] Tando, E. 2019. Upaya Efisiensi Dan Peningkatan Ketersediaan Nitrogen Dalam Tanah Serta Serapan Nitrogen Pada Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* L.), *BUANA SAINS*, 18(2): 171–180, 2019, doi: 10.33366/bs.v18i2.1190.
- [36] Khan, M.N. 2021. Exogenous Potassium Positively Regulates Antiport System, Carbohydrate Metabolism, and Ascorbate-Glutathione Cycle in H₂S-Dependent Manner in NaCl-Stressed Tomato Seedling Roots.,” *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(5): 948–961, doi: 10.3390/plants10050948
- [37] Chrysargyris, A., Panayiotou, C and Tzortzakakis, N. 2015. Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.), *Ind. Crops Prod.*, 83: 577–586, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.12.067.
- [38] Ramayana, S., Idris, S.D., Rusdiansyah, dan Madjid, K.F. 2021. Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea Mays* L.) Terhadap Pemberian Beberapa Komposisi Pupuk Majemuk Pada Lahan Pasca Tambang Batubara,” *AGRIFOR*, 20(1): 35–46, 2021, doi: 10.31293/agrifor.v20i1.4877.
- [39] Jadeja, A and Hirpara, P. 2019. Fundamentals of Soil Science first lecture, *Dep. Agric. Chem. Soil Sci. Coll. Agric. Junagadh Agric. Univ.*, pp. 1–38, doi: 10.13140/RG.2.2.20705.84325.

- [40] Hapsari, P., Indradewa, D and Ambarwati, E. 2017. Pengaruh Pengurangan Jumlah Cabang dan Jumlah Buah terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tomat (*Solanum Lycopersicum L.*), *Vegetalika*, 6(3): 37–49, doi: 10.22146/veg.28016.
- [41] Gregory, P.J., Simmonds, L.P and Warren, G.P. 1997. Interactions between plant nutrients, water and carbon dioxide as factors limiting crop yields, *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, 352(1356): 987–996, doi: 10.1098/rstb.1997.0077.
- [42] Raihan. 2002. Pemupukan NPK dan ameliorasi lahan pasang surut sulfat masam berdasarkan nilai uji tanah untuk tanaman jagung, *Ilmu Pertan. Agricultural Sci.*, 9(1): 20–28, doi: 10.22146/ipas.58613
- [43] Mapegau, M., Setyaji, H., Hayati, I and Ayuningtiyas, S.P. 2022. Efek Residu Biochar Sekam Padi Dan Pupuk Kandang Ayam Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays L.*), *Biospecies*, 15(1): 49–55, doi: 10.22437/biospecies.v15i1.17121.
- [44] Marvelia, A., Darmanti, S dan Parman, S. 2006. Produksi Tanaman Jagung Manis (*Zea Mays L. Saccharata*) yang Diperlakukan dengan Kompos Kascing dengan Dosis yang Berbeda,” *Bul. Anat. dan Fisiol.*, 14(2): 7–18, [Online]. Available:<http://eprints.undip.ac.id/34480/>.
- [45] Isnaeni N.S. 2020. Respon Tanaman Jagung Manis (*Zea Mays L.*) Terhadap Pemberian Pupuk Guano Kelelawar Dan Pupuk Guano Walet,” *J. Agroteknologi*, 11(1): 33–38, doi: 10.24014/ja.v11i1.9276.
- [46] Rahni, N.M. 2012. Efek Fitohormon PGPR Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays*), *CEFARS J. Agribisnis dan Pengemb. Wil.*, 3(2): 27–35, 2012, [Online]. Available:<https://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/cefars/article/view/92>.
- [47] Kendari, T. 2012. The Change of Catechin Antioxidant during Vacuum Roasting of Cocoa Powder, *J. Nutr. Food Sci.*, 02(10): 1–5, 2012, doi: 10.4172/2155-9600.1000174

- [48] Sarminah, S., Karyati, Karmini, Simbolon, J and Tambunan, E. Rehabilitation and soil conservation of degraded land using sengan (*Falcataria moluccana*) and peanut (*Arachis hypogaea*) agroforestry system, *Biodiversitas*, 19(1): 222–228, doi: 10.13057/biodiv/d190130.
- [49] Parveen, M., Haq, M., Aziz, T and Maqsood. 2021. Potassium induces carbohydrates accumulation by enhancing morpho-physiological and biochemical attributes in soybean under salinity, *Arch. Agron. Soil Sci.*, 67(7): 946–959, 2021, doi: 10.1080/03650340.2020.1769075.
- [50] Fadwiwati, A.Y dan Tahir, A.G. 2013. Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi dan Pendapatan Usahatani Jagung di Provinsi Gorontalo, *J. Pengkaj. dan Pengemb. Teknol. Pertan.*, 16(2): 92–101, [Online]. Available:<https://core.ac.uk/download/pdf/326453451.pdf>.
- [51] Sari, I.A dan Wahyu, A. 2014. Keragaan Beberapa Genotipe Harapan Kakao Mulia Hasil Seleksi di Kebun Penataran, Jawa Timur [Performance of Some Promising Genotypes of Fine-flavour Cocoa Selected at Penataran Estate, East Java], *Pelita Perkeb.*, 30(2): 81–91, [Online]. Available:<https://pdfs.semanticscholar.org/f812/25b9f43c488377b0cdd7182861e8e683be02.pdf>.
- [52] Sharar, M.S., Ayub, M., Nadeem, M.A and Ahmad, N. 2003. Effect of Different Rates of Nitrogen and Phosphorus on Growth and Grain Yield of Maize (*Zea mays* L.),” *Asian J. Plant Sci.*, 2(3): 347–349, doi: 10.3923/ajps.2003.347.349.
- [53] Ruseani, N.S., Vanhove, W., Susilo, A.W and van Damme, P. 2022. Clonal differences in nitrogen use efficiency and macro-nutrient uptake in young clonal cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings from Indonesia, *J. Plant Nutr.*, 45(20): 3196–3211, doi: 10.1080/01904167.2022.2057328.
- [54] Kuan, K.B., Othman, R., Rahim, K.A and Shamsuddin, Z.H. 2016. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen

- remobilisation of maize under greenhouse conditions, *PLoS One*, 11(3): 0152478–0152497, doi: 10.1371/journal.pone.0152478.
- [55] Staudinger, M.D. 2013. Biodiversity in a changing climate: A synthesis of current and projected trends in the US, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(9): 465–473, doi: 10.1890/120272.
- [56] Bekele, F and Mora, W.P. 2019. Cacao (*Theobroma cacao* L.) breeding, *Adv. Plant Breed. Strateg. Ind. Food Crop.*, 6: 409–487, doi: 10.1007/978-3-030-23265-8_12.
- [57] Wahyuni, T., Karmilasanti, Indriyanti, S.Y and Abdurachman. 2022. Involvement and roles of stakeholders in Mahakam delta management to support mitigation and adaptation effort of climate change in East Kalimantan,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 976(1): 012028–012037, doi: 10.1088/1755-1315/976/1/012028.
- [58] Kramer, P.J. Effects of soil temperature on the absorption of water by plants, *Science*, 79(2051): 371–372, 2014, doi: 10.1126/science.79.2051.371.
- [59] Chmolowska, D. 2021. Higher Vulnerability of Heterotrophic Soil Respiration to Temperature Drop in Fallows than in Meadows, *J. Clim. Chang.*, 7(1): 57–67, 2021, doi: 10.3233/jcc210005.
- [60] Illawathure, C., Parkin, G., Lambot, L and Galagedara, L. 2020. Evaluating soil moisture estimation from ground-penetrating radar hyperbola fitting with respect to a systematic time-domain reflectometry data collection in a boreal podzolic agricultural field,” *Hydrol. Process.*, 34(6): 1428–1445, doi: 10.1002/hyp.13646.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh anggota keluarga tercinta. Khususnya kepada kedua orangtuaku yaitu Almarhum H. Asnawi bin Kasran dan Almarhumah Hj. Sa'amah binti Sarkawi yang telah memberikan kasih sayang yang tulus dan pendidikan tanpa henti hingga akhir hayat mereka. Kepada istriku, Prof. Dr. Ir. Hj. Helda Syahfari, M.P. terima kasih atas cinta, motivasi, pengertian, dan kebersamaan yang telah diwujudkan selama ini. Anak-anakku Adhepia Camellia, S.P., Almarhum M. Rinaldi Berza Parama, Bonita Miselia, S.Kom., MAP., cucu-cucu kami M. Rifki Alifaldhi, Alifa Rizka Humaira, Aisya Amira Umaiza, dan Nabila Qonita atas kasih sayang dan dukungannya.

Terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, Pendidikan, dan Kebudayaan, Rektorat UNMUL dan Dekanat Fakultas Pertanian. Kepada semua pihak yang terlibat dan membantu dalam pengusulan pangkat dan jabatan hingga Guru Besar serta Panitia Orasi Ilmiah dan Pengukuhan Guru Besar atas bantuan yang telah diberikan.

Terimakasih atas bimbingan dan arahan kepada Almarhum Prof. Dr. Ir. Soehartini Riyanto, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Riyanto, M.Sc. selaku Pembimbing S1; Prof. Dr. Ir. Marlon Ivanhoe Aipassa, M. Sc. dan Prof. Dr. Ir. Sigit Hardwinarto, M.Sc. selaku Pembimbing S2 dan S3. Kolega di Jurusan/Prodi Agroekoteknologi dan rekan-rekan dosen lainnya disampaikan terima kasih. Terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas doa, bantuan, dan dukungannya.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan limpahan rahmat, petunjuk, ridha, dan kesehatan kepada kita semua, aamiin YRA.



CURRICULUM VITAE

Nama : A. Syamad Ramayana
NIP : 19610821 198503 1 004
NIDN : 0021086107
Tempat, Tanggal Lahir : Samarinda, 21 Agustus 1961
Agama : Islam
Email : syamadramayana@mail.com
No HP : +62813261143
Fakultas : Pertanian
Pangkat, Gol. : Pembina Tingkat 1/IVb
Jabfung, TMT : Guru Besar
TMT Golongan : 26 Maret 2025
ID SINTA : 6766930
ID SCOPUS : 58172793200

RIWAYAT PENDIDIKAN

Keterangan	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	Universitas Mulawarman	Universitas Mulawarman	Universitas Mulawarman
Bidang	Agronomi	Ilmu Kehutanan	Ilmu Kehutanan
Fakultas	Pertanian	Kehutanan	Kehutanan
Tahun Lulus	1984	2000	2015
Judul Skripsi/ Tesis/ Disertasi	Pertumbuhan dan Hasil Bawang Putih Dataran Rendah Dengan Pemberian Pupuk NPK di Kecamatan Tenggarong Seberang Kabupaten Kutai Kertanegara	Studi Tentang Kondisi Biogeofisik Lahan dan Alternatif Pengelolaannya Untuk Tanaman Padi Di Kawasan Hilir Sub DAS Separi Besar Kabupaten Kutai Kartanegara	Studi Tentang Kondisi Biogeofisik Lahan dan Desain Pemanfaatannya pada Lahan Pasca Tambang PT Multi Sarana Avindo Di Kabupaten Kutai Kartanegara
Nama Pembimbing/ Promotor	Prof. Dr. Ir. Soehartini Riyanto, M.Sc. Prof. Dr. Ir. Riyanto, M. Sc.	Prof. Dr. Ir. Marlon Ivanhoe Aipassa, M. Agr.	Prof. Dr. Ir. Marlon Ivanhoe Aipassa, M. Agr.

Keterangan	S1	S2	S3
		Prof. Dr. Ir. Sigit Hardwinarto, M. Agr.	Prof. Dr. Ir. Sigit Hardwinarto, M. Agr..

RIWAYAT PENELITIAN

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (juta Rp)
1	2024	Effects of Bokashi and NPK on the Growth and Yield of Purple Eggplant Plants	Mandiri	8
2	2024	Pengaruh Penambahan Pupuk Ntrogen Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Selada (Lactuca sativa) pada Sistem Hidroponik Wick	Mandiri	8
3	2024	Performance of Cocoa Fruit (Theobroma cacao L.) at Different Slope Positions in a Wet Tropical Climate	Mandiri	18,5
4	2024	Pengaruh Naungan Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tiga Varietas Cabai Merah (Capsicum annum L).	Mandiri	7
5	2024	Padi Ladang Spesifik Wilayah Tropika Basah	Ristek dikti	100
6	2024	Community Participation In Implementation Social Forestry Program In The UPTD KPHP Santan Area, East Kalimantan Province	Mandiri	8
7	2023	Effect of Liquid Organic Fertilizer Paitan Leaf Extract (Tithonia diversivolia) on the Growth and Yields of Soybean Plant (Glycine max (L.) Merrill) on Rainfed Land	Mandiri	8
8	2023	Katokkon Chili Livestock Manure Response Of Growth And Yield Of Katokkon Chili Plants (Capsicum chinense Jacq.) To The Type And Dosage Of Animal Manure Fertilizer	Mandiri	8
9	2023	Respons pertumbuhan bibit pepaya (Carica papaya L.) Pada pemberian pupuk kompos padat limbah sawit dan pupuk organik cair di pembibitan	Mandiri	5
10	2023	Response of Growth and Yield of Sweet Corn Plants in Rainfed Land	Mandiri	5

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (juta Rp)
		to Providing Plant Growth Promoting Rhizobacteria bamboo Roots		
11	2023	The Degree of Stability of Rubber Stands (<i>Hevea brasiliensis</i>) in the Timber Estate Area of PT. Sylvaduta District Kembang Janggut, Kutai Kartanegara District East Kalimantan Province	Mandiri	5
12	2023	Pengaruh Pengolahan Tanah terhadap Pertumbuhan Gulma dan Produksi Tanaman Kedelai (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill	Mandiri	5
13	2023	Identification of Climate Influence on Upas Fungus (<i>Corticium</i> sp.) Disease Intensity on Rubber Plants (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell.Arg.	Mandiri	18,5
14	2022	Isolasi Jamur Tanah Saprofit Mikroskopis	Mandiri	5
15	2022	Food Consumption Patterns and Child Stunting in The Lowland Region	Mandiri	18,5
19	2022	Pembangunan Pertanian dan Peternakan Berkelanjutan	Mandiri	7,5
20	2022	The Effect of Arbuscular Mycorrhiza Inoculation and SP 36 Fertilizer on the Growth of Palm Oil (<i>Elaeis Guineensis</i> Jacq.) Seedling DxP PPKS 540 Variety Grown in Pre Nursery Phase	Mandiri	8
21	2022	Comparison of Content and Status of the C-Organic, Nitrogen, C/N Ratio, Soil pH, and Organic Matter in Rainfed, Tidal and Swampy Rice Fields (Case Study in Three Villages, in East Kalimantan)	Mandiri	5
22	2022	Prediction of Kendisan River Sedimentation Rate In Coal Mine Land PT Multi Sarana Avindo in Kutai Kartanegara	Mandiri	5
23	2022	Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung (<i>Zea mays</i> L.) Dengan Pengayaan Mikoriza Dan Pupuk Majemuk Pada Lahan Pasca Tambang Batubara	Mandiri	5
24	2022	Estimasi Erodibilitas Tanah dan Identifikasi Jenis Erosi di Wilayah Pasca Tambang Batu bara	Mandiri	5

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (juta Rp)
25	2022	Investigasi Kandungan C-Organik, Nitrogen, P dan K, pH dan Rasio C/N Sawah Tadah Hujan di Desa Sarinadi, Kecamatan Kota Bangun, Kabupaten Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur	Mandiri	7,5
26	2022	Benzyl Amino Purine (BAP) Growth Regulator Application and Shoot Origin Stem Lai (Durio kutejensis) Against Growth Durian (Durio zibethinus Å Murr) Grafting Seedlings	Mandiri	7,5
27	2022	Estimasi Erodibilitas Tanah dan Identifikasi Jenis Erosi di Wilayah Pasca Tambang Batu bara	Mandiri	5
28	2022	Investigasi Kandungan C-Organik, Nitrogen, P dan K, pH dan Rasio C/N Sawah Tadah Hujan di Desa Sarinadi, Kecamatan Kota Bangun, Kabupaten Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur	Mandiri	5
29	2021	Implementasi Praktik yang Baik Dalam Mendukung Pertanian Berkelanjutan	Mandiri	5
30	2020	Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung (Zea mays. L) Terhadap Pemberian Beberapa Komposisi Pupuk Majemuk Pada Lahan Pasca Tambang Batubara	Mandiri	5

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

No	Tahun	Judul Pengabdian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (juta Rp)
1	2025	Pelatihan Pembuatan Pestisida Nabati	Mandiri	1
2	2025	Pelatihan Pembuatan Ecoenzim	Mandiri	1
3	2024	Sosialisasi Tanaman Bernilai Ekonomis Tinggi	Mandiri	1
4	2023	Sosialisasi Kampung Iklim	Mandiri	1
5	2022	Sosialisasi Mitigasi Perubahan iklim untuk Pertanian	Mandiri	1
6	2022	Pemanfaatan Limbah Budidaya Padi Untuk Meningkatkan Nilai	BOPTN Faperta Unmul	10

No	Tahun	Judul Pengabdian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (juta Rp)
		tambah Produksi Dan pendapatan Petani		
7	2021	Sosialisasi Hasil Penelitian, Dan Penyuluhan Tentang Pertanian Berkelanjutan Berbasis Bahan Organik	BOPTN Faperta Unmul	10
8	2021	Pelatihan Pembuatan Pupuk Kompos	Mandiri	1.5
9	2020	Pengubinan Tanaman Padi	Mandiri	1
10	2020	Sosialisasi Pertanian Di Sekolah Dasar Anak Bangsa	Mandiri	0,25
11	2019	Pelatihan Pembuatan Pupuk Kompos	Mandiri	1.5

PUBLIKASI ILMIAH

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/ Nomor/ Halaman/ Tahun
1	Performance of Cocoa Fruit (<i>Theobroma cacao</i> L.) at Different Slope Positions in a Wet Tropical Climate	Universal Journal of Agriculture Research	Vol 12/ (2), 299-309. 2024
2	Penambahan Pupuk Nitrogen Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Selada (<i>Lactuca sativa</i> L.) Pada Sistem Hidroponik Sumbu	Agrika	Volume 18 Nomor 1, 59-70. 2024
3	Growth And Yield Of Cayenne Pepper Plants (<i>Capsicum frutescens</i> L.) On Bokashi Planting Media And Soil Mixture With Burnt Husk	International Journal of Agriculture & Research	Vol. 07 Issue 01 Halaman 1-37. 2024
4	Identification of Climate Influence on Upas Fungus (<i>Corticium</i> sp.) Disease Intensity on Rubber Plants (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell.Arg.)	Universal Journal of Agricultural Research	Vol 11/ (1), 146-157.2024
5	Pengaruh Naungan Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tiga Varietas	Agrifor	Vol. 23 No.1 Halaman 129-139.

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/ Nomor/ Halaman/ Tahun
	Cabai Merah (Capsicum annum L).		2024
6	Effect of Liquid Organic Fertilizer Paitan Leaf Extract (Tithonia diversivolia) on the Growth and Yields of Soybean Plant (Glycine max (L.) Merrill) on Rainfed Land	International Journal of Plant & Soil Science	Volume 35, Issue 23, Page 50-57.2023;
7	Katokkon Chili Livestock Manure Response Of Growth And Yield Of Katokkon Chili Plants (Capsicum chinense Jacq.) To The Type And Dosage Of Animal Manure Fertilizer	GPH- International Journal of Agriculture and Research	Volume 22/1/,Halaman 28-35.2023
8	Prediction of Kendisan River Sedimentation Rate in Coal Mine Land PT Multi Sarana Avido in Kutai Kartanegara	International Journal of Ecology and Environmental Sciences	Vol 4 No 2 Page 52-54.2022
9	Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung (Zea mays L.) Dengan Pengayaan Mikoriza Dan Pupuk Majemuk Pada Lahan Pasca Tambang Batubara	Fakultas Pertanian Universitas Widya Malang	Vol.116 No 1, 2021 Halaman 55-68.2021
10	Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung (Zea mays. L) Terhadap Pemberian Beberapa Komposisi Pupuk Majemuk Pada Lahan Pasca Tambang Batubara	Agrifor	Vol 20 No 1 Halaman 12.2020

PEMAKALAH SEMINAR ILMIAH (ORAL PRESENTATION)

No	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Tempat dan Waktu
1.	Forum Komunikasi Perguruan Tinggi Pertanian Indonesia	Adopsi Teknologi Budidaya Petani Transmigran	10 Oktober 2018, Bali

No	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Tempat dan Waktu
	(FKPTPI) Wilayah Timur (Seminar Nasional)		
2.	Perhimpunan Agronomi Indonesia (Peragi)- Balitbangtan (Seminar Nasional)	Potensi Plasma Nuftah Padi Kalimantan Timur dalam Menunjang Ketahanan Pangan	07 November 2018, Bogor
3.	Sekolah Tinggi Pertanian (STIPER) Kutai Timur	Optimalisasi Lulusan Melalui Penguatan Kurikulum	16 November 2018, Sangatta Kutai Timur
4.	Universitas Tujuh Belas Agustus 1945 Samarinda	Kurikulum Berbasis KKNi	10 Maret 2019, Samarinda
5.	Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman (Seminar Internasional)	Morphological-Agronomic Characters of Rice Plants Generation F4 from Crosses Cultivars Pandan Ungu/Amas (ICTAFF)	13 November 2018, Samarinda
6.	Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman (Seminar nasional)	Pemanfaatan Limbah Cair Ternak Sapi Untuk Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit	7-8 Agustus 2019, Balikpapan
7.	BPTP Kalimantan Timur (Webinar Nasional)	Antisipasi La Nina Menghadapi Musim Tanam Oktober- Maret	18 November 2020, Samarinda
8.	Dinas Perkebunan Kalimantan Timur (Webinar Nasional)	Penyelenggaraan Sistem Sertifikasi Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan Di Kalimantan Timur	28 Januari 2021, Samarinda
9.	Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman (International Webinar)	Benzyl Amino Purine (BAP) Growth Regulator Application And Shoot Origin Stem Lai (<i>Durio kutejensis</i>) Against Growth Durian (<i>Duriozibethinus</i> Murr) Grafting Seedlings	07 September 2021, Samarinda
10.	Jurusan Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman (Webinar nasional)	Pemanfaatan LahanPasca Tambang Batubara Untuk Lahan Pertanian	11 September 2021, Samarinda
12	BPSDMP	Mitigasi Perubahan Iklim	17 Juni 2022, Samarinda

No	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Tempat dan Waktu
13	BPSDMP	Dampak Perubahan Iklim Terhadap Pertanian	09 Juni 2023, Samarinda
14	BPSDMP	Antisipasi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Pertanian	22 Juni 2024, Samarinda

KARYA BUKU

No	Judul Buku	Tahun	Penerbit
1	Buku Ajar Agroekosistem Pertanian Tropika Basah	2024	PT Nasya Expanding Management
2	Buku Referensi Padi Ladang Spesifik Wilayah Tropika Basah	2024	PT Nasya Expanding Management
3	Implementasi Praktik yang baik dalam mendukung Pertanian Berkelanjutan (BOOK Chapter)	2021	Deepublish
4	Buku Ajar Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman	2024	PT Nasya Expanding Management
5	Buku Referensi Isolasi Jamur Tanah Saprofit Mikroskopis	2023	PT Nasya Expanding Management
6	Pembangunan Pertanian dan Peternakan Berkelanjutan	2023	Deepublish

PEROLEHAN HKI

No.	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1	Pertumbuhan Mata Tunas Pasca Okulasi Tanaman Holai Sentawar (<i>Durio zibethinus</i> Murr X <i>Durio Kutejensis</i>) Terhadap Komposisi Media Tanam Dan Umur Bibit Okulasi	2024	Hak Cipta Karya Ilmiah	000619969
2	Video Profil PS Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman	2022	Hak Cipta Karya Rekaman Video	000431701



UNIVERSITAS MULAWARMAN

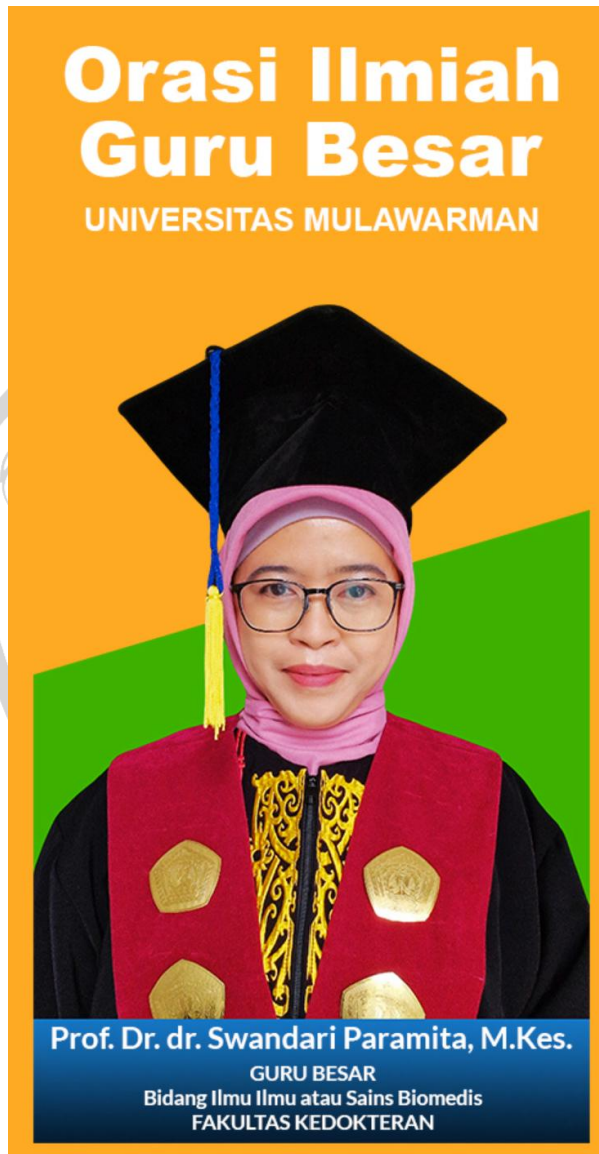
ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. dr. Swandari Paramita, M.Kes.

PERAN ILMU BIOMEDIS DALAM RISET UNGGULAN
UNTUK OBAT DAN KOSMETIK BAHAN ALAM
BERBASIS HUTAN TROPIKA LEMBAP DAN
LINGKUNGANNYA

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. dr. Swandari Paramita, M.Kes.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan	3
B. Latar Belakang dan Urgensi Riset Ilmu Biomedis	3
C. Potensi Biodiversitas Kalimantan Timur sebagai Sumber Bahan Alam.....	6
D. Fokus Riset: Dari Laboratorium Menuju Produk Unggulan.....	9
E. Kesimpulan	11
DAFTAR PUSTAKA.....	12
UCAPAN TERIMA KASIH	24
CURRICULUM VITAE.....	27

SINOPSIS

Ilmu Biomedis (*Biomedical Science*) adalah cabang ilmu yang mempelajari mekanisme biologis, fisiologis, molekuler, dan seluler yang mendasari fungsi tubuh manusia serta proses terjadinya penyakit. Ilmu ini menjadi fondasi utama bagi kemajuan ilmu kedokteran, farmasi, kesehatan masyarakat, bioteknologi, dan pengembangan produk kesehatan berbasis bahan alam. Di era *evidence-based medicine*, Ilmu Biomedis bukan hanya sebagai pendorong penemuan obat baru, tetapi juga berperan penting dalam validasi efektivitas dan keamanan bahan-bahan alami sebagai kandidat terapi baru. Ilmu ini mengintegrasikan berbagai pendekatan mulai dari biologi molekuler, farmakologi, biokimia, imunologi, hingga toksikologi.

Selama beberapa dekade terakhir, terjadi pergeseran paradigma dalam pengembangan obat dan kosmetik. Masyarakat global semakin menginginkan produk berbasis alam (*natural-based products*) yang lebih aman, minim efek samping, dan memiliki nilai tambah ekologi serta ekonomi. Ilmu Biomedis memiliki peran sentral dan strategis dalam menjawab tantangan tersebut. Beberapa peran utama Ilmu Biomedis dalam konteks riset unggulan berbasis hutan tropika lembap meliputi eksplorasi dan identifikasi senyawa bioaktif, validasi farmakologis dan toksikologis, serta pengembangan formulasi produk.

Kalimantan Timur, tempat Universitas Mulawarman berdiri, merupakan salah satu wilayah dengan tingkat biodiversitas tertinggi di dunia. Kalimantan Timur memiliki lebih dari 10.000 spesies tumbuhan, dengan sekitar 250–300 spesies diantaranya digunakan secara tradisional sebagai tanaman obat, tanaman aromatik, maupun bahan baku kosmetik. Namun di sisi lain,

Kalimantan Timur juga menghadapi degradasi lingkungan yang serius, terutama akibat deforestasi, ekspansi tambang, dan perubahan iklim yang mengancam kelestarian ekosistem hutan tropis. Untuk kekayaan flora sebagai sumber bahan aktif berbasis tanaman. Hasil inventarisasi dan eksplorasi kami selama hampir satu dekade terakhir mengidentifikasi sejumlah tanaman unggulan yang memiliki potensi bioaktivitas tinggi. Selain tanaman, kekayaan biodiversitas Kalimantan Timur juga mencakup fauna penghasil bahan bioaktif. Dengan demikian, potensi biodiversitas Kalimantan Timur bukan hanya menjadi kekayaan ekologis, tetapi juga merupakan sumber inspirasi dan peluang strategis bagi pengembangan riset Ilmu Biomedis, inovasi obat herbal, dan kosmetik berbahan alam yang berdampak global.

Ilmu Biomedis adalah jembatan penting antara ilmu dasar dan inovasi aplikasi kesehatan. Berikut adalah empat pilar utama fokus riset kami, mulai dari laboratorium hingga menuju prototipe produk. Pilar pertama adalah eksplorasi dan isolasi bahan alam berbasis biomedis. Pilar kedua adalah validasi bioaktivitas secara *in vitro*, *in vivo*, dan *in silico*. Pilar ketiga adalah pengembangan formulasi produk kesehatan dan kosmetik. Pilar keempat adalah hilirisasi. Bagi Universitas Mulawarman secara khusus, dan Kalimantan Timur serta Indonesia secara umum, Ilmu Biomedis memiliki peran strategis dalam mengoptimalkan potensi biodiversitas lokal menjadi produk kesehatan unggulan. Dengan kekuatan analisis molekuler, biologi sel, farmakologi, dan toksikologi, Ilmu Biomedis dapat menjadi motor utama dalam transformasi kekayaan biodiversitas menjadi inovasi kesehatan dan kesejahteraan masyarakat.

A. Pendahuluan

Ilmu Biomedis (*Biomedical Science*) adalah cabang ilmu yang mempelajari mekanisme biologis, fisiologis, molekuler, dan seluler yang mendasari fungsi tubuh manusia serta proses terjadinya penyakit. Ilmu ini menjadi fondasi utama bagi kemajuan ilmu kedokteran, farmasi, kesehatan masyarakat, bioteknologi, dan pengembangan produk kesehatan berbasis bahan alam (Sobie et al., 2011; Comroe and Dripps, 1976). Secara umum, Ilmu Biomedis menjembatani ilmu dasar (*basic science*) seperti biologi, kimia, dan fisika, dengan ilmu klinis (*clinical science*) seperti kedokteran, farmakologi, dan kesehatan masyarakat (Rice et al., 2020; Tabak and Collins, 2011).

Ilmu Biomedis mencakup berbagai sub-disiplin ilmu yang saling terkait, antara lain Biokimia, yaitu studi tentang struktur dan fungsi molekul biologis dalam tubuh, Biologi Molekuler, yang mempelajari mekanisme genetik dan regulasi ekspresi gen; Fisiologi, yang mempelajari tentang fungsi sistem tubuh dalam kondisi normal; Patologi, yang mempelajari mekanisme perubahan sel dan jaringan akibat penyakit; Farmakologi, yang mempelajari mekanisme kerja obat dan interaksinya dengan sistem biologis; Imunologi, yaitu mempelajari tentang sistem imun dan mekanisme pertahanan tubuh; Mikrobiologi, yaitu studi tentang mikroorganisme patogen dan interaksinya dengan tubuh; serta Toksikologi yang mempelajari tentang efek toksik bahan kimia, termasuk bahan alam (Behzadi and Gajdács, 2021; Anderson, 1998).

B. Latar Belakang dan Urgensi Riset Ilmu Biomedis

Di era *evidence-based medicine*, Ilmu Biomedis bukan hanya sebagai pendorong penemuan obat baru, tetapi

juga berperan penting dalam validasi efektivitas dan keamanan bahan-bahan alami sebagai kandidat terapi baru. Ilmu ini mengintegrasikan berbagai pendekatan mulai dari biologi molekuler, farmakologi, biokimia, imunologi, hingga toksikologi (Mohs and Greigs, 2017; Stillman and Nass, 2003).

Selama beberapa dekade terakhir, terjadi pergeseran paradigma dalam pengembangan obat dan kosmetik. Masyarakat global semakin menginginkan produk berbasis alam (*natural-based products*) yang lebih aman, minim efek samping, dan memiliki nilai tambah ekologi serta ekonomi (Li et al., 2022). Beberapa faktor yang mendorong pertumbuhan pasar produk bahan alam antara lain meningkatnya kesadaran konsumen tentang perawatan diri dan kesehatan, meningkatnya pendapatan dan gaya hidup konsumen, inovasi produk dan teknologi, serta dukungan dari media sosial yang semakin populer (Statista, 2021).

Permintaan ini tercermin dalam pertumbuhan industri kosmetik berbahan alami yang mencapai nilai lebih dari USD 30 miliar pada tahun 2022, dengan proyeksi pertumbuhan tahunan lebih dari 5% hingga 2028. Data penjualan biokosmetik di Indonesia, juga menunjukkan pertumbuhan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2020, pasar kosmetik di Indonesia mencapai nilai USD 10 miliar dan diperkirakan akan terus meningkat (GlobalData, 2022). Hal serupa juga terjadi dalam industri farmasi, di mana sekitar 40% obat modern saat ini memiliki basis senyawa aktif dari bahan alam, termasuk dari tanaman tropis (Nielsen, 2022).

Ilmu Biomedis memiliki peran sentral dan strategis dalam menjawab tantangan tersebut. Beberapa peran utama Ilmu Biomedis dalam konteks riset unggulan berbasis hutan tropika lembap meliputi:

1. Eksplorasi dan identifikasi senyawa bioaktif menggunakan teknik fitokimia modern, analisis spektral (HPLC, LC-MS, GC-MS), serta profiling

metabolomik untuk mengidentifikasi senyawa potensial dari bahan alam (Sinha and Vohora, 2018).

2. Validasi farmakologis dan toksikologis melalui uji *in vitro*, *in vivo*, dan molecular docking, Ilmu Biomedis membantu memetakan mekanisme aksi, bioaktivitas, dan keamanan bahan alam (Zhong and Zhou, 2014).
3. Pengembangan formulasi produk dengan pendekatan bioteknologi farmasi dan kosmetik, penelitian ini menghasilkan formulasi inovatif seperti serum wajah, minuman herbal, dan suplementasi nutraseutikal (Nicolaou, 2014).

Secara global, tren menuju *green pharmacy* dan *eco-cosmetic* semakin menguat. Laporan dari WHO pada tahun 2020 menyebutkan bahwa lebih dari 80% populasi dunia masih mengandalkan produk berbasis bahan alam dalam pengobatan tradisional (Paramita et al., 2018a). Penelitian yang dilakukan oleh Kementerian Kesehatan menunjukkan bahwa 60% penduduk Indonesia dewasa menyatakan pernah minum jamu atau herbal, dan 90% diantaranya menyatakan adanya manfaat minum jamu atau herbal (Aditama, 2014; Purwaningsih, 2013). Hal ini menunjukkan adanya peningkatan animo penggunaan tumbuhan berkhasiat obat untuk berbagai penyakit oleh masyarakat di Indonesia (Ismail et al., 2018). Dalam beberapa tahun terakhir terjadi tren dimana konsumen memilih produk bahan alam yang lebih ramah lingkungan dan aman untuk kesehatan. Hal ini mengakibatkan peningkatan permintaan produk bahan alam di seluruh dunia (Euromonitor International, 2021). Namun demikian, tantangan tetap ada, antara lain kurangnya validasi ilmiah yang kuat terhadap bahan alam tropis, regulasi ketat pemerintah terkait keamanan dan klaim produk, serta isu standarisasi bahan baku, khususnya dari hutan

tropis yang habitatnya bervariasi (Bano et al., 2023; Langley et al., 2017).

C. Potensi Biodiversitas Kalimantan Timur sebagai Sumber Bahan Alam

Kalimantan Timur, tempat Universitas Mulawarman berada, merupakan salah satu wilayah dengan tingkat biodiversitas tertinggi di dunia. Indonesia adalah negara kedua dengan biodiversitas terbesar di dunia setelah Brasil, dan Wilayah ini termasuk dalam *global biodiversity hotspot* dengan ekosistem hutan tropika lembap yang unik dan memiliki tingkat endemisitas tinggi (Paramita et al., 2017a; Paramita et al., 2017b). Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Kalimantan Timur memiliki lebih dari 10.000 spesies tumbuhan, dengan sekitar 250–300 spesies diantaranya digunakan secara tradisional sebagai tanaman obat, tanaman aromatik, maupun bahan baku kosmetik oleh masyarakat adat seperti Dayak, Kutai, dan Banjar. Hutan tropika lembap Kalimantan Timur memiliki ribuan spesies tanaman yang belum banyak diteliti potensi bioaktifnya (Paramita et al., 2017c; Paramita, 2016).

Namun di sisi lain, Kalimantan Timur juga menghadapi degradasi lingkungan yang serius, terutama akibat deforestasi, ekspansi tambang, dan perubahan iklim yang mengancam kelestarian ekosistem hutan tropis (Paramita et al., 2024a). Fenomena ini mendorong perlunya model riset terintegrasi, yang tidak hanya mengeksplorasi potensi bahan alam untuk obat dan kosmetik, tetapi juga memberikan solusi bagi reklamasi ekosistem. Sebagai seorang ilmuwan, kami merasa memiliki tanggung jawab moral dan akademik untuk menggali, melestarikan, dan mengoptimalkan potensi sumber daya alam ini menjadi produk kesehatan yang berguna bagi masyarakat (Putri et al., 2022; Paramita and Rahmadi, 2020).

Untuk kekayaan flora sebagai sumber bahan aktif berbasis tanaman. Hasil inventarisasi dan eksplorasi kami selama hampir satu dekade terakhir mengidentifikasi sejumlah tanaman unggulan yang memiliki potensi bioaktivitas tinggi. Bangalai (*Zingiber purpureum* Roscoe) yang rimpangnya memiliki kandungan aktif utama yaitu seskuiterpen dan flavonoid, serta memiliki potensi bioaktivitas sebagai anti-inflamasi, anti-acne dan anti-aging (Tambunan et al., 2025; Syahduwamarta et al., 2024; Pardosi et al., 2022; Tandirogang et al., 2022; Paramita et al., 2018b).

Temu Hitam (*Curcuma aeruginosa* Roxb.) yang rimpangnya memiliki kandungan aktif utama yaitu kurkumin dan xanthorrhizol, serta memiliki potensi bioaktivitas sebagai bronkodilator dan anti-inflamasi (Paramita et al., 2021; Panggabean et al., 2020; Paramita et al., 2019; Paramita et al., 2018c; Paramita et al., 2018d). Mahang (*Macaranga tanarius* Mull. Arg.) yang daunnya memiliki kandungan aktif utama yaitu fenolik dan flavonoid, serta memiliki potensi bioaktivitas sebagai antioksidan dan anti-aging (Fikriah et al., 2025; Fikriah et al., 2024; Rosamah et al., 2023).

Bawang Tiwai (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb.) yang umbinya memiliki kandungan aktif naphthoquinone, serta memiliki potensi bioaktivitas sebagai antibakteri dan antioksidan (Riadh et al., 2024; Paramita et al., 2020; Paramita et al., 2018e; Paramita and Nuryanto, 2018). Kaliandra (*Calliandra houstoniana* var. *calothyrsus* (Meisn.) Barneby) yang bunga dan daunnya memiliki kandungan fenolik, serta memiliki potensi bioaktivitas sebagai pakan lebah dan sumber flavonoid (Arung et al., 2024; Paramita et al., 2024b).

Selain tanaman, kekayaan biodiversitas Kalimantan Timur juga mencakup fauna penghasil bahan bioaktif, seperti lebah tanpa sengat (*stingless bee*). Jenis-jenis yang dominan dan menjadi fokus riset kami adalah *Heterotrigona itama*, *Homotrigona*

fimbriata, *Tetragonula biroi*, dan *Tetragonula iridipennis* (Ramadhan et al., 2024; Takdir et al., 2024; Setyawan et al., 2023a; Arung et al., 2022; Arung et al., 2021; Sukemi et al., 2021; Rahmatillah et al., 2020). Produk utama dari lebah-lebah ini adalah madu kelulut yang memiliki kandungan bioaktif utama yaitu flavonoid dan asam fenolik, sehingga potensi aplikasinya adalah sebagai antioksidan, antimikroba, dan imunomodulator. Selain itu ada propolis yang memiliki kandungan bioaktif utama yaitu fenolik dan terpenoid, dengan potensi aplikasinya adalah sebagai anti-acne, anti-aging dan anti-inflamasi (Paramita et al., 2024c; Arung et al., 2023).

Lahan pascatambang yang tersebar luas di Kalimantan Timur awalnya dianggap sebagai lahan tidak produktif. Namun, penelitian kami menunjukkan bahwa tanaman revegetasi, seperti *Calliandra calothyrsus* dan *Macaranga tanarius*, mampu menjadi sumber bahan bioaktif baru. Hal ini membuka peluang pengembangan model *agroforestry* berbasis tanaman bioaktif yang mendukung konservasi, rehabilitasi lingkungan, sekaligus produksi bahan baku obat dan kosmetik (Fikriah et al., 2025; Fikriah et al., 2024; Palupi et al., 2023a; Palupi et al., 2023b; Paramita et al., 2023).

Melalui pendekatan *bioprospecting* berbasis konservasi, kami melihat peluang besar untuk mengembangkan bank plasma nutfah tanaman obat Kalimantan Timur, melakukan eksplorasi metabolomik untuk senyawa-senyawa bioaktif baru, mengintegrasikan data biodiversitas ke dalam kebijakan pengelolaan hutan berkelanjutan, serta mengembangkan *eco-tourism* edukatif berbasis tanaman obat dan lebah tanpa sengat, sebagai diversifikasi ekonomi masyarakat (Paramita et al., 2024a; Paramita and Rahmadi, 2020).

Dengan demikian, potensi biodiversitas Kalimantan Timur bukan hanya menjadi kekayaan ekologis, tetapi juga merupakan sumber inspirasi dan

peluang strategis bagi pengembangan riset Ilmu Biomedis, inovasi obat herbal, dan kosmetik berbahan alam yang berdampak global. Tugas kita bersama adalah memastikan bahwa eksplorasi ini dilakukan dengan pendekatan ilmiah yang kuat, etika riset yang tinggi, dan prinsip keberlanjutan lingkungan (Ahmad et al., 2022; Putri et al., 2022).

D. Fokus Riset: Dari Laboratorium Menuju Produk Unggulan

Ilmu Biomedis adalah jembatan penting antara ilmu dasar dan inovasi aplikasi kesehatan. Seluruh perjalanan riset kami dan tim selama lebih dari satu dekade dapat dirangkum dalam sebuah alur integratif, yang bergerak dari eksplorasi bahan alam, identifikasi senyawa bioaktif, validasi bioaktivitas, pengembangan formulasi, hingga hilirisasi menjadi produk kesehatan dan kosmetik unggulan. Berikut adalah empat pilar utama fokus riset kami, mulai dari laboratorium hingga menuju prototipe produk.

Pilar pertama adalah eksplorasi dan isolasi bahan alam berbasis biomedis. Langkah awal dimulai dengan eksplorasi biodiversitas Kalimantan Timur, terutama di wilayah hutan primer dan sekunder, lahan pascatambang, wilayah dengan kearifan lokal etnomedisin tinggi. Pendekatan riset etnofarmakologi menjadi dasar dalam menentukan prioritas spesies. Tahapan teknis yang dilakukan meliputi ekstraksi bioaktif menggunakan berbagai pelarut (metanol, etanol, etil asetat), identifikasi fitokimia melalui uji kualitatif dan kuantitatif, serta analisis molekuler menggunakan HPLC, GC-MS, dan LC-MS/MS. (Supandi et al., 2022; Yuniati et al., 2018; Merindasari et al., 2014).

Pilar kedua adalah validasi bioaktivitas secara *in vitro*, *in vivo*, dan *in silico*. Setelah identifikasi senyawa aktif, langkah berikutnya adalah validasi bioaktivitas, secara *in vitro* (uji selular dan mikrobiologis), seperti uji

antibakteri dan uji antioksidan. Selanjutnya secara *in vivo* (uji hewan coba), misalnya menggunakan model tikus diabetes dan asma. Selain itu juga secara *in silico* (*molecular docking*). Hasil keseluruhan uji ini memberikan bukti ilmiah (*evidence-based*) yang menjadi dasar pengembangan produk lebih lanjut (Sallata et al., 2024; Nuryanto et al., 2018; Moerad et al., 2017; Nuryanto et al., 2017; Pasaribu et al., 2017; Tandirogang et al., 2017; Yasir et al., 2017).

Pilar ketiga adalah pengembangan formulasi produk kesehatan dan kosmetik. Seperti untuk kategori produk kosmetik topikal, contoh produk hasil risetnya adalah serum wajah anti-aging dari propolis lebah tanpa sengat, krim anti-acne berbasis bangalai, serta produk skin-whitening dari tengkawang. Selain itu juga untuk kategori produk herbal konsumsi, contoh produk hasil risetnya adalah minuman herbal penurun kolesterol dan suplemen antidiabetes dari produk lebah tanpa sengat. Selanjutnya juga ada kategori produk suplemen kesehatan, contoh produk risetnya adalah minuman herbal anti-inflamasi dan formula imunostimulan dari madu lebah tanpa sengat (Dewi et al., 2024; Setyawan et al., 2023b; Paramita and Yunita, 2022; Rijal et al., 2016).

Pilar keempat adalah hilirisasi. Untuk memastikan bahwa inovasi ini dapat benar-benar sampai ke masyarakat, maka hilirisasi menjadi fokus penting. Langkah hilirisasi meliputi pendaftaran paten, serta kolaborasi dengan UMKM dan industri kosmetik lokal. Riset biomedis yang kami lakukan tidak berhenti di laboratorium. Kami menerapkan skema hilirisasi hasil riset, dengan fokus utama pada dua jalur utama, yaitu pengembangan obat herbal tradisional dan biokosmetik berbasis bahan alam (Widyowati et al., 2025; Zuhud, 2009).

Meski capaian sudah cukup baik, beberapa tantangan yang kami hadapi dalam hilirisasi produk berbasis bahan alam antara lain standarisasi bahan baku alami yang sangat dipengaruhi oleh faktor

lingkungan, musim, dan teknik budidaya. Selain itu ada biaya tinggi untuk uji klinis lanjutan dan sertifikasi BPOM, terutama untuk fitofarmaka. Kemudian diperlukan perluasan jejaring distribusi produk, karena sebagian besar produk saat ini masih berbasis uji pasar lokal. Selanjutnya terdapat keterbatasan kapasitas produksi skala industri, sehingga memerlukan mitra industri kosmetik nasional untuk scale-up lebih besar (Tistiyanto et al., 2023; Tjandrawinata, 2020).

E. Kesimpulan

Bagi Universitas Mulawarman secara khusus, dan Kalimantan Timur serta Indonesia secara umum, Ilmu Biomedis memiliki peran strategis dalam mengoptimalkan potensi biodiversitas lokal menjadi produk kesehatan unggulan. Selanjutnya juga untuk meningkatkan kemandirian nasional dalam produksi obat dan kosmetik berbahan alam. Kemudian dalam menjaga keseimbangan ekosistem melalui pendekatan *bioprospecting* yang berkelanjutan. Setelah itu juga dalam menyediakan solusi kesehatan berbasis alam yang aman, terjangkau, dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat tropis.

Secara sederhana, Ilmu Biomedis adalah tulang punggung ilmiah yang memungkinkan kita memahami “bagaimana alam bekerja dalam tubuh manusia” dan “bagaimana kita bisa memanfaatkan alam untuk meningkatkan kesehatan manusia”. Dengan kekuatan analisis molekuler, biologi sel, farmakologi, dan toksikologi, Ilmu Biomedis dapat menjadi motor utama dalam transformasi kekayaan biodiversitas menjadi inovasi kesehatan dan kesejahteraan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, T.Y., 2024. *Jamu dan Kesehatan*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Kesehatan RI.
- Ahmad, I., Prabowo, W.C., Arifuddin, M., Fadraersada, J., Indriyanti, N., Herman, H., Purwoko, R.Y., Nainu, F., Rahmadi, A., **Paramita, S.** and Kuncoro, H., 2022. Mitragyna species as pharmacological agents: From abuse to promising pharmaceutical products. *Life*, 12(2), p.193.
- Anderson, N.B., 1998. Levels of analysis in health science: A framework for integrating sociobehavioral and biomedical research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 840(1), pp.563-576.
- Arung, E.T., Ardy, A., Syafrizal, S., Naibaho, N. and **Paramita, S.**, 2024. Kandungan fitokimia dan aktivitas antibakteri madu Heterotrigona itama yang ditenakkan pada areal tumbuhan caliantra (*Calliandra calothyrsus*) terhadap bakteri *Escherichia coli*. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, 8(1), pp.111-115.
- Arung, E.T., Kusuma, I.W., **Paramita, S.**, Amen, Y., Kim, Y.U., Naibaho, N.M., Ramadhan, R., Ariyanta, H.A., Patriasari, W. and Shimizu, K., 2023. Antioxidant, anti-inflammatory and anti-acne activities of stingless bee (*Tetragonula biroi*) propolis. *Fitoterapia*, p.105375.
- Arung, E.T., Ramadhan, R., Mandzilkh, L.D., Santoso, P.A., Matsumoto, M., Nagata, M., Kusuma, I.W., **Paramita, S.**, Sukemi, Yadi, Takemoto, N., Amen, Y., Syafrizal, Shimizu, K., Tandirogang, N. 2022. Screening of Selected Stingless Bee Honey Varieties for ACE2-Spike Protein-Binding Inhibition Activity: A Potential Preventive Medicine Against SARS-Cov-2 Infection. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, 29(5), pp.146-153.

- Arung, E.T., Ramadhan, R., Khairunnisa, B., Amen, Y., Matsumoto, M., Nagata, M., Kusuma, I.W., **Paramita, S.**, Tandirogang, N., Takemoto, N. and Kim, Y.U., 2021. Cytotoxicity effect of honey, bee pollen, and propolis from seven stingless bees in some cancer cell lines. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), pp.7182-7189.
- Bano, I., Butt, U.D. and Mohsan, S.A.H., 2023. New challenges in drug discovery. In *Novel Platforms for Drug Delivery Applications* (pp. 619-643). Woodhead Publishing.
- Behzadi, P. and Gajdács, M., 2021. Writing a strong scientific paper in medicine and the biomedical sciences: a checklist and recommendations for early career researchers. *Biologia Futura*, 72(4), pp.395-407.
- Comroe Jr, J.H. and Dripps, R.D., 1976. Scientific basis for the support of biomedical science. *Science*, 192(4235), pp.105-111.
- Dewi, J.K., Toruan, V.M.L., **Paramita, S.** and Arung, E.T., 2024. A Dermatological Safety Test of a Face Serum Formulation Derived from Honey and Propolis of Stingless Bee from East Kalimantan. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 5(3), pp.748-754.
- Euromonitor International, 2021. *Beauty and Personal Care in 2021: The Big Picture*. Available from: <https://www.euromonitor.com/beauty-and-personal-care-in-indonesia/report> (Accessed: 1 March 2024).
- Fikriah, I., Masruhim, M.A., Marliana, E., Panggabean, A.S., Ismail, S., Kusuma, I.W. and **Paramita, S.**, 2025. Antioxidant Activity of Mahang Leaves from Post-Coal Mining Revegetated Areas in East Kalimantan. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1447, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.

- Fikriah, I., Masruhin, M.A., **Paramita, S.**, Marliana, E., Panggabean, A.S., Ismail, S., Kusuma, I.W., Kim, Y.U. and Kim, S.Y., 2024. Acute toxicity, secondary metabolites, and antioxidant activity of *Macaranga tanarius* from post-coal mining and non-mining areas in East Kalimantan, Indonesia. *Narra J*, 4(2), p.e791.
- GlobalData, 2022. *Indonesia Skincare Market Size by Categories, Distribution, Channel, Market Share and Forecast, 2021–2026*. Available from: <https://www.globaldata.com/store/report/indonesia-skincare-market-analysis/> (Accessed: 1 March 2024).
- Ismail, S., **Paramita, S.**, Aminyoto, M., Bakhtiar, R. and Kosala, K., 2018. Layanan Komplementer di Klinik Universitas pada Pengembangan Usaha Produk Intelektual Kampus. *Jurnal SOLMA*, 7(2), pp.168-175.
- Langley, G.R., Adcock, I.M., Busquet, F., Crofton, K.M., Csernok, E., Giese, C., Heinonen, T., Herrmann, K., Hofmann-Apitius, M., Landesmann, B. and Marshall, L.J., 2017. Towards a 21st-century roadmap for biomedical research and drug discovery: consensus report and recommendations. *Drug Discovery Today*, 22(2), pp.327-339.
- Li, H., Wei, W. and Xu, H., 2022. Drug discovery is an eternal challenge for the biomedical sciences. *Acta Materia Medica*, 1(1), pp.1-3.
- Merindasari, D., **Paramita, S.** and Ismail, S., 2014. Efek Hepatoprotektif Secara In Vitro Terhadap Tanaman Obat (Studi Terhadap Skripsi Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Mulawarman Angkatan 2001-2009). *JIMKI: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kedokteran Indonesia*, 2(2), pp.6-13.
- Moerad, E.B., **Paramita, S.**, Iskandar, A., Ismail, S., Pratiningrum, M. and Irawiraman, H., 2017. Uji Aktivitas Trakeospasmodik Ekstrak Etanol

- Centella asiatica (L.) Urb. Pada Organ Terpisah Trakea Marmut untuk Melihat Efek Antiasma. *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry*, 4(2), pp.52-59.
- Mohs, R.C. and Greig, N.H., 2017. Drug discovery and development: Role of basic biological research. *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*, 3(4), pp.651-657.
- Nicolaou, K.C., 2014. Advancing the drug discovery and development process. *Angewandte Chemie*, 126(35), pp.9280-9292.
- Nielsen, 2022. 2022 State of the Beauty Industry. Available from: <https://nielseniq.com/global/en/insights/report/2022/2022-state-of-the-beauty-industry/> (Accessed: 1 March 2024).
- Nuryanto, M.K., **Paramita, S.** and Iskandar, A., 2018, April. Membrane stabilization activity as anti-inflammatory mechanisms of Vernonia amygdalina leaves extracts. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 144, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
- Nuryanto, M.K., **Paramita, S.**, Iskandar, A., Ismail, S. and Ruslim, A.K., 2017. Aktivitas anti-inflamasi in vitro ekstrak etanol daun vernonia amygdalina delile dengan pengujian stabilisasi membran. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(8), pp.402-407.
- Palupi, N.P., Kesumaningwati, R., Subeki, S., Mujiono, K., Sofian, S., **Paramita, S.** and Arung, E.T., 2023a. The use of animal manure for improving chemical properties of degraded Ultisol, yield, and secondary metabolic of Zingiber montanum. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(1), pp.4847-4862.
- Palupi, N.P., Safitri, N., Ningrum, T.S., Huzaeni, E.M., Arifin, S., Arung, E.T., Kusuma, I.W., Manullang, J.R., **Paramita, S.**, 2023b. Pendampingan Petani

- untuk Penanaman Sumber Pakan Lebah Madu Kelulut di Desa Bangun Rejo, Kutai Kartanegara. *ABDIKU: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman*, 2(2), pp.37-42.
- Panggabean, Y., Marliana, E., Hairani, E., **Paramita, S.** and Ismail, S., 2020. Isolasi dan Identifikasi Senyawa Metabolit Sekunder dari Rimpang Temu Hitam (*Curcuma aeruginosa* Roxb.). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 18(1), pp.12-15.
- Paramita, S.**, Kusuma, I.W., Sulistioadi, Y.B. and Kiswanto, 2024a. Environmental and Safety Aspects of Bio-based Cosmetics in Indonesia. In *Biomass-based Cosmetics: Research Trends and Future Outlook* (pp. 545-568). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Paramita, S.**, Arung, E.T., Syafrizal, S. and Naibaho, N.M., 2024b. Antioxidant Activities and Phytochemical Composition of Stingless Bee (*Heterotrigona itama*) Honey Collected from Calliandra Calothyrsus Plantation in East Kalimantan, Indonesia. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 24(2), pp.325-337.
- Paramita, S.**, Toruan, V.M.L., Rahma, K., Zubaidah, M., Arung, E.T., and Kusuma, I.W. 2024c. Stingless Bee Propolis Review as Biocosmetics for Anti-acne, Anti-aging, and Skin-whitening. *Journal of Apicultural Science*, 68(2), pp.79-106.
- Paramita, S.**, Kusuma, I.W., Manullang, J.R., Palupi, N.P. and Sari, A.M., Arung, E.T., 2023. Pendampingan Petani Madu Kelulut di Kabupaten Kutai Kartanegara untuk Distribusi Madu Skala Nasional. *ABDIKU: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman*, 2(1), pp.56-63.
- Paramita, S.** and Yunita, F., 2022, Ekstrak Daun Zaitun (*Olea europaea* L.) untuk Tata Laksana Hipertensi. *Medicinus*, 35(1), pp.46-49.

- Paramita, S.**, Ismail, S., Moerad, E.B. and Marlina, E., 2021. A short overview of *Curcuma aeruginosa* with curative potentials against COVID-19. *Asian Journal of Chemistry*, 33(4), pp.789-792.
- Paramita, S.**, Yasir, Y., and Yuniati, Y., 2020. Potensi Bawang Tiwai (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb.) sebagai Komponen Antibakteri Berbahan Dasar Alam Untuk Kosmetika. In *Tropical Studies: Potensi Permasalahan Hutan Tropika Lembap dan Lingkungannya* (pp. 55-70). Bogor: IPB Press.
- Paramita, S.**, and Rahmadi, A., 2020. *Tropical Studies: Potensi Permasalahan Hutan Tropika Lembap dan Lingkungannya*. Bogor: IPB Press.
- Paramita, S.**, Ismail, S., Marlina, E. and Moerad, E.B., 2019. Anti-inflammatory activities of *Curcuma aeruginosa* with membrane stabilization and carrageenan-induced paw oedema test. *EurAsian Journal of BioSciences*, 13(2), pp.2389-2394.
- Paramita, S.**, Fitriany, E., Tiyantara, M.S., Setyorini, A. and Cahyasit, T.E., 2018a. Comparison of Adherence to the Use of Herbal Medicine with Conventional Medicine in Hypertensive Patients at Lempake Public Health Center, Samarinda City. *Health Science Journal of Indonesia*, 9(2), pp.82-86.
- Paramita, S.**, Aminyoto, M., Ismail, S. and Arung, E.T., 2018b. Anti-hypercholesterolemic effect of *Zingiber montanum* extract. *F1000Research*, 7(1798), p.1798.
- Paramita, S.**, Moerad, E.B., Ismail, S. and Marlina, E., 2018c. Antiasthmatic effect of *Curcuma aeruginosa* extract on isolated organ of the trachea. *F1000Research*, 7(1799), p.1799.
- Paramita, S.**, Moerad, E.B., Ismail, S. and Marlina, E., 2018d. Tracheospasmolytic and anti-inflammatory activity of indigenous *Curcuma* species as traditional antiasthmatic medicines. *Nusantara Bioscience*, 10(2), pp.105-110.

- Paramita, S.**, Yasir, Y., Yuniati, Y. and Sina, I., 2018e. Analisis bioautografi kromatografi lapis tipis dan aktivitas antibakteri ekstrak etanol bawang tiwai (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb.) terhadap Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(9), pp.470-478.
- Paramita, S.** and Nuryanto, M.K., 2018. Aktivitas anti peradangan ekstrak etanol umbi bawang dayak (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb.). *Journal of Vocational Health Studies*, 2(51-55), pp.2018-51.
- Paramita, S.**, Kosala, K., Dzulkifli, D., Saputri, D.I. and Wijayanti, E., 2017a. Anti-inflammatory activities of ethnomedicinal plants from Dayak Abai in North Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(4), pp.1556-1561.
- Paramita, S.**, Kosala, K. and Sari, I.N., 2017b. Penggunaan Suplemen Bahan Alam oleh Pasien Demam Berdarah Dengue di Kalimantan Timur. *Jurnal Tumbuhan Obat Indonesia*, 10(1), pp.1-13.
- Paramita, S.**, Isnwardana, R., Nuryanto, M.K., Djalung, R., Rachmawatiningtyas, D.G. and Jayastri, P., 2017c. Pola penggunaan obat bahan alam sebagai terapi komplementer pada pasien hipertensi di puskesmas. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(7), pp.367-376.
- Paramita, S.**, 2016. Tahongai (*Kleinhovia hospita* L.): Review sebuah tumbuhan obat dari Kalimantan Timur. *Jurnal Tumbuhan Obat Indonesia*, 9(1), pp.29-36.
- Pardosi, D.R.S., Purnamasari, C.B., **Paramita, S.**, Astuti, L.A., Masyhudi, M., Arung, E.T., 2022. Antibacterial activity of bangle rhizome essential oil (*zingiber montanum*) against streptococcus mutans. *Journal of Dentomaxillofacial Science*, 7(1), pp.5-8.

- Pasaribu, M., Tandirogang, N., Ismail, S., **Paramita, S.**, Magdaleni, A.R. and Nugroho, H., 2017. Potensi Ekstrak Etanol Rimpang Jeringau (*Acorus calamus* L.) Sebagai Spasmolitik. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(7), pp.338-344.
- Purwaningsih, E.H., 2013. Jamu, Obat Tradisional Asli Indonesia Pasang Surut Pemanfaatannya di Indonesia. *eJournal Kedokteran Indonesia*, 1(2), pp. 85-89.
- Putri, A.S., Haqiqi, M.T., Kusuma, I.W., Kuspradini, H., Rosamah, E., Amirta, R., **Paramita, S.**, Ramadhan, R., Lubis, M.A.R., Ariyanta, H.A., Aswandi, A., Kholibrina, C.R., Ismayanti, M., Fatriasari, W., Tarmadi, D., Yuliansyah, Y., Suwinarti W., Kim Y-U. and Arung, E.T., 2022. A Mini Review: The Application of Eupatorium Plants as Potential Cosmetic Ingredients. *Cosmetics*, 9(5), p.103.
- Rahmatillah, R., **Paramita, S.** and Yadi, Y., 2020. Anti-Inflammatory Activity of Stingless Bee Honey (*Homotrigona fimbriata*) From East Kalimantan Tropical Rainforest. *MCTrops*, 1(1), pp.10-17.
- Ramadhan, R., Kusuma, I.W., **Paramita, S.**, Amen, Y., Kim, Y.U., Fatriasari, W., Shimizu, K. and Arung, E.T., 2024. Cytotoxicity evaluation of phytochemicals from stingless bee (*Tetragonula biroii*) propolis. *Toxicon*, p.107352.
- Riadh, D.N. **Paramita, S.** and Yadi, Y., 2024. Application of Dayak Onion (*Eleutherine bulbosa* Urb.) as a Preservative for Animal Protein: Chicken Meat. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 5(2), pp.375-382.
- Rice, D.B., Raffoul, H., Ioannidis, J.P. and Moher, D., 2020. Academic criteria for promotion and tenure in biomedical sciences faculties: cross sectional analysis of international sample of universities. *BMJ*, 369.

- Rijal, S., Miskad, U.A., Achmad, D., Masadah, R., Daud, D., Kaelan, C., Rahawarin, H., **Paramita, S.** and Yasir, Y., 2016. Evaluation of Anti-ulcerogenic Activity in Oil Extract of Jintan Hitam (*Nigella sativa*) Against Ethanol Induced Gastric Ulcer in Mice (*Mus musculus*). *American Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 4(6), pp.179-184.
- Rosamah, E., Haqiqi, M.T., Putri, A.S., Kuspradini, H., Kusuma, I.W., Amirta, R., Yuliansyah, Y., Suwinarti, W., **Paramita, S.**, Ramadhan, R. and Tarmadi, D., 2023. The potential of Macaranga plants as skincare cosmetic ingredients: A review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 13(7), pp.1-12.
- Sallata, K.B., Astuti, L.A., Alhawaris, Listiyawati, and **Paramita, S.**, 2024. Perbandingan Uji Aktivitas Antibakteri Sarang Semut (*Myrmecodia tuberosa* Jack) Kalimantan terhadap Pertumbuhan Bakteri *Treponema denticola* Penyebab Penyakit Infeksi Periodontal. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 6(4), pp.737-743.
- Setyawan, A.B., Satria, A.P., Arung, E.T., **Paramita, S.**, 2023a. Effect of Bee Pollen Kelulut Bees on HbA1C in Type 2 Diabetes Mellitus Patients. *Malaysia Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 19(1), pp.56-60.
- Setyawan, A.B., Satria, A.P., Arung, E.T., **Paramita, S.**, 2023b. Anti-Diabetic Activity of Bee Pollen Dry Extract Standardized in Alloxan-Induced Diabetic Rat. *Systematic Review Pharmacy*, 14(2), pp.91-93.
- Sinha, S. and Vohora, D., 2018. Drug discovery and development: An overview. *Pharmaceutical Medicine and Translational Clinical Research*, pp.19-32.
- Sobie, E.A., Lee, Y.S., Jenkins, S.L. and Iyengar, R., 2011. Systems biology—biomedical modeling. *Science Signaling*, 4(190), pp.tr2-tr2.

- Sukemi, S., Yasir, Y., **Paramita, S.** and Arung, E.T., 2021, April. DPPH-Scavenging Activity of Propolis of *Tetragonula iridipennis* from East Kalimantan. In *Joint Symposium on Tropical Studies (JSTS-19)* (pp. 320-322). Atlantis Press.
- Supandi, S., Wulandari, M.S., Samsul, E., Azminah, A., Purwoko, R.Y., Herman, H., Kuncoro, H., Ibrahim, A., Ambarwati, N.S.S., Rosmalena, R., Azizah, R.N., **Paramita, S.**, Ahmad, I., 2022. Dipeptidyl peptidase IV inhibition of phytochemicals from *Artocarpus champeden* (Lour.) Stokes: In silico molecular docking study and ADME-Tox prediction approach. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 13(3), pp.207-215.
- Syahdumawarta, L.I., Toruan, V.M.L., **Paramita, S.** and Zubaidah, M., 2024. Larvicidal Activity of *Zingiber purpureum* Roscoe Essential Oil from East Kalimantan in Preventing Dengue Hemorrhagic Fever. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 5(9), pp.3609-3614.
- Statista, 2021. *Beauty & Personal Care – Indonesia*. Available from: <https://www.statista.com/outlook/cmo/beauty-personal-care/indonesia> (Accessed: 1 March 2024).
- Stillman, B.W. and Nass, S.J. eds., 2003. *Large-scale Biomedical Science: Exploring Strategies for Future Research*. National Academies Press.
- Tabak, L.A. and Collins, F.S., 2011. Weaving a richer tapestry in biomedical science. *Science*, 333(6045), pp.940-941.
- Takdir, A.Q., Purnamasari, C.B., Ompusunggu, N.Y., **Paramita, S.** and Yani, S., 2024. Antibacterial Activity of Stingless Bee Propolis (*Heterotrigona itama*) Ethanol Extract on Dental Root Canal Bacteria Growth in Vitro. *International Journal of*

- Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 5(4), pp.1127-1133.
- Tambunan, N.C.N., **Paramita, S.**, Rahma, K. and Toruan, V.M.L., 2025. Potensi Minyak Asiri Rimpang Bangle (*Zingiber purpureum* Roxb.) Sebagai Antioksidan. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*, 12(5), pp.965-972.
- Tandirogang, N., Anitasari, S., Arung, E.T., **Paramita, S.** and Shen, Y.K., 2022. Evaluations of Antibacterial Properties of *Zingiber purpureum* Essential Oil Against 13 Different Gram-positive and Gram-negative Bacteria. *The Indonesian Biomedical Journal*, 14(3), pp.303-8.
- Tandirogang, N., **Paramita, S.**, Yasir, Y., Yuniati, Y., Aminyoto, M. and Fitriany, E., 2017. Aktivitas antimikroba ekstrak Daun Karamunting (*Melastoma malabathricum* L.) terhadap bakteri penyebab diare. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(7), pp.345-351.
- Tistiyanto, P.D., Sukrasno, S., Budiastuti, B. and Prima, L., 2023. Kajian Penerapan Cara Pembuatan Obat Tradisional yang Baik pada Industri Ekstrak Bahan Alam di Indonesia. *Pharmaceutical and Biomedical Sciences Journal (PBSJ)*, 5(1), pp.23-34.
- Tjandrawinata, R.R., 2020. Konsep Obat Modern Asli Indonesia (OMAI) dalam penggunaannya di fasilitas kesehatan formal. *Dexa Laboratories of Biomolecular Sciences*, 33(2), pp.3-10.
- Widyowati, R.R., Purwanto, D.A., Yuwono, M., Purwanto, B.T., Ekowati, J., Widyawaruyanti, A. and Ekasari, W., 2025. *Menggali Potensi Bahan Baku Obat dan Obat Bahan Alam-Upaya Mewujudkan Kemandirian Bangsa di Bidang Farmasi*. Airlangga University Press.
- Yasir, Y., Yuniati, Y., **Paramita, S.**, Zubaidah, M., Mu'ti, A. and Danial, D., 2017. Analisis bioautografi dengan kromatografi lapis tipis pada ekstrak etanol daun *Caesalpinia sumatrana* roxb.

- Terhadap bakteri penyebab infeksi nosokomial. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(7), pp.359-366.
- Yuniati, Y., Hasanah, N., Ismail, S., Anitasari, S. and **Paramita, S.**, 2018. Antibacterial activity of dracontomelon dao extracts on methicillin-resistant *S. Aureus* (MRSA) and *E. Coli* multiple drug resistance (MDR). *African Journal of Infectious Diseases*, 12(1S), pp.62-67.
- Zhong, W.Z. and Zhou, S.F., 2014. Molecular science for drug development and biomedicine. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(11), pp.20072-20078.
- Zuhud, E.A., 2009. Potensi hutan tropika Indonesia sebagai penyangga bahan obat alam untuk kesehatan bangsa. *Jurnal Bahan Alam Indonesia*, 6(6), pp.227-232.



UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kehadiran Allah SWT dan junjungan kita Nabi Muhammad SAW, akhirnya kami bisa mencapai titik ini. Terkabulnya sebuah doa spesifik yang pertama kali kami panjatkan saat menunaikan ibadah haji beberapa tahun silam. Ucapan terima kasih terutama untuk ibu saya, iyang, Hj. Sulaikah Baidowi yang saat ini alhamdulillah dalam kondisi sehat wal afiat. Almarhum abah dr. H. Ridwan Masrun, gelar ini terutama dipersembahkan untuk beliau, alhamdulillah masih mengikuti jejaknya untuk menjadi seorang dokter, dan kini juga menjadi seorang guru besar di bidang kedokteran yaitu Ilmu atau Sains Biomedis. Suami saya, dr. H. Trijono Patono Putro, M.Kes, support system saya yang paling kuat selama lebih dari 30 tahun ini sejak mengenalnya kuliah bersama di Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang. Kedua putri terspesial, Kalya Natriswa Putri Kinanthi dan Kanya Natriswa Putri Kinasih. Mereka yang selalu bertanya kapan Mom jadi profesor, dan alhamdulillah sudah terjawab. Tak lupa juga ucapan terima kasih untuk kedua adik saya, dr. Ronny Isnwardana, MIH, Ph.D dan Meinard Maya Safitri, SE, M.Si.

Alhamdulillah dalam perjalanan saya hingga mencapai titik ini, saya banyak didukung oleh para mentor, para coach, dan teman-teman yang suportif. Terima kasih untuk para mentor saya, Prof. Mustofa Agung Sardjono dan Prof. Lambang Subagiyo. Terima kasih pula untuk para coach akademik saya, Prof. Enos Tangke Arung dan Prof. Irawan Wijaya Kusuma. Mengutip sebuah pepatah, *“you are the average five person that you spend most of the time with”*. Jika ditanya bagaimana tips dan triknya menjadi Profesor, maka saya jawab, buatlah sirkel pertemanan dengan para Guru Besar, dijamin anda akan segera ketularan.

Alhamdulillah dalam waktu kurang dari tiga tahun sejak kenaikan pangkat ke Lektor Kepala, sudah bisa menjadi Guru Besar. Semoga kisah ini bisa jadi inspirasi untuk yang lain.

Pada awalnya saya mengira bahwa menjadi seorang Profesor adalah memiliki rangkaian publikasi internasional, rekam jejak capaian hibah, deretan patent granted hingga punya berbagai buku. Ternyata bukan hanya itu, belakangan saya menyadari bahwa menjadi seorang Profesor adalah sebuah tanggung jawab. *“Great power comes with great responsibilities”*, demikian kutipan seorang superhero terkenal. Ini bukanlah titik akhir dari perjalanan *academic excellence* saya, melainkan awal dari tantangan baru kedepannya. Ilmu Sains Biomedis adalah ilmu yang kompleks. Berada di dalam rumpun ilmu kedokteran, ia menjadi dasar dari semua ilmu kedokteran pra klinik dan klinik. Semua perkembangan ilmu kedokteran masa kini mau tidak mau harus didasari ilmu sains biomedis yang mumpuni. Saat ini kami juga memegang fellow untuk *Indonesian Society of Public Health (FISPH)* dan *Indonesian Society of Community Medicine (FISCM)*. Kombinasi ilmu sains biomedis serta ilmu kedokteran komunitas dan kesehatan masyarakat, membuat kita bisa lebih bersiap untuk adanya tantangan baru di bidang kedokteran kedepannya. Menjadi seorang guru besar di Universitas Mulawarman maka tidak bisa dilepaskan dari Pola Ilmiah Pokok Hutan Tropika Lembap dan Lingkungannya, sesuatu yang saya banyak terinspirasi dari para mentor untuk ini. Kedepan ada banyak hal terkait lingkungan tropis yang perlu pencerahan dari ilmu sains biomedis. Tidak sedikit masalah kesehatan komunitas saat ini yang terkait kondisi lingkungan tropis kita. Semoga kami bisa sedikit banyak membantu menyelesaikan masalah kesehatan tersebut, tentunya dengan dukungan dari berbagai pihak terkait.

Mengakhiri orasi ilmiah ini, ijin saya mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas

Mulawarman, Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., serta kepada seluruh jajaran pimpinan universitas dan fakultas di lingkungan Universitas Mulawarman. Tanpa dukungan anda semua, mustahil ini semua bisa terjadi kepada saya. Akhir kata saya mengucapkan terima kasih sekali lagi kepada semua teman, kolega, rekan hingga sejawat yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.



CURRICULUM VITAE

Nama : Swandari Paramita
NIP : 197606052005012003
NIDN : 0005067609
Tempat, Tanggal
Lahir : Malang, 5 Juni 1976
Agama : Islam
Email : s.paramita@fk.unmul.ac.id
No HP : +628125863228
Fakultas : Kedokteran
Pangkat, Gol. : Pembina, IV/a
Jabfung, TMT : Guru Besar, 28 Mei 2025
TMT Golongan : 1 Oktober 2023
ID SINTA : 5978196
ID SCOPUS : 57190855252

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang (2000).
2. Magister (S2) Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar (2004).
3. Doktor (S3) Program Doktor Ilmu Kedokteran Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang (2011).

RIWAYAT PENELITIAN

1. (2025) Eksplorasi Prospeksi Tanaman Bangalai Hasil Budidaya di Lahan Pasca Tambang sebagai Biokosmetik Anti Penuaan Dini dan Pencerah Wajah (Ketua Peneliti). Kemendiktisaintek. Rp. 81.980.000.
2. (2025) Eksplorasi Potensi Penyembuhan Luka In Vitro oleh Propolis Lebah Tanpa Sengat Hasil

- Budidaya di Lahan Pasca Tambang Kalimantan (Ketua Peneliti). Kemendiktisaintek. Rp. 51.580.000.
3. (2024) Formulasi Biokosmetik Serum Wajah Berbasis Propolis Kelulut dari Lebah Tanpa Sengat asal Kalimantan Timur (Ketua Peneliti). Kemendikbudristek. Rp. 109.170.000.
 4. (2023) Anti-acne Activity of Stingless Bee Honey from Tropical Rainforest in East Kalimantan (Anggota Peneliti). L'Oreal - Perdoski - Universitas Indonesia Hair and Skin Research Grant. Rp. 50.000.000.
 5. (2023) Formulasi Biokosmetik Serum Wajah Berbasis Minyak Atsiri Bangalai (*Zingiber montanum*) asal Kalimantan Timur (Anggota Peneliti). Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Rp. 129.000.000.
 6. (2023) Formulasi Biokosmetik Serum Wajah Berbasis Propolis Kelulut dari Lebah Tanpa Sengat asal Kalimantan Timur (Ketua Peneliti). Kemendikbudristek. Rp. 141.000.000.
 7. (2023) Formulasi Skincare Premium Berbasis Lemak Tengkawang (Green Butter) dan Lignin (Activating Agent) Biocosmetic Anti Hiperpigmentasi dan Anti Jerawat (Anggota Peneliti). Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Rp. 60.000.000.
 8. (2023) Propolis, Madu dan Bee Pollen dari Lebah Tanpa Sengat jenis *Tetragonula biroi* yang dibudidayakan di Balikpapan sebagai Bahan Baku Obat dan Kosmetik (Anggota Peneliti). Kemendikbudristek. Rp. 218.426.000.
 9. (2023) Kajian madu, propolis dan Bee Pollen dari lebah tanpa sengat (*Heterotrigona itama*) sebagai bahan baku obat dan kosmetik yang dibudidayakan pada lahan bekas tambang dengan vegetasi *Calliandra callotyrus* (Anggota Peneliti). Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup (BPD LH) dan Ford Foundation (Kementerian Keuangan). Rp. 89.000.000.

10. (2022) Reka Jalur Hilirisasi Produk Madu Kelulut (*Stingless Bee Honey*) Kalimantan Timur Menuju Distribusi Nasional (Anggota Peneliti). Kemendikbudristek. Rp. 191.870.000.
11. (2022) Propolis, Madu dan Bee Pollen dari Lebah Tanpa Sengat jenis *Tetragonula biroi* yang dibudidayakan di Balikpapan sebagai Bahan Baku Obat dan Kosmetik (Anggota Peneliti). Kemendikbudristek. Rp. 200.000.000.
12. (2022) Inovasi Minuman Herbal untuk Kolesterol Tinggi Berbasis Kearifan Lokal Kalimantan Timur (Ketua Peneliti). Kemendikbudristek. Rp. 113.840.000.
13. (2022) Uji Aktivitas Antidiabetik Bee Pollen Lebah Kelulut pada Mencit yang Diinduksi Aloksan dan Pengaruhnya Terhadap Kadar HbA1C, LDL dan Triglisierida Pada Pasien Diabetes Mellitus Tipe 2 (Anggota Peneliti). Kemendikbudristek. Rp. 72.146.000.
14. (2021) Uji Aktivitas Antidiabetik Bee Pollen Lebah Kelulut pada Mencit yang Diinduksi Aloksan dan Pengaruhnya Terhadap Kadar HbA1C, LDL dan Triglisierida Pada Pasien Diabetes Mellitus Tipe 2 (Anggota Peneliti). Kemendikbudristek. Rp. 178.610.000.
15. (2021) Advancing Baseline on the Economic Instrument on KPHL Balikpapan (Anggota Peneliti). Global Green Growth Institute (GGGI). 5600 USD (Rp. 85.248.800).
16. (2021) Technical Support for Detailed Land Cover Data at A Better Scale in Hutan Adat Hemaq Beniung at KPHP Damai in East Kalimantan (Ketua Peneliti). Global Green Growth Institute (GGGI). 7000 USD (Rp. 106.651.000).
17. (2021) Inovasi Minuman Herbal untuk Kolesterol Tinggi Berbasis Kearifan Lokal Kalimantan Timur (Ketua Peneliti). Kemenristek/BRIN. Rp. 169.340.000.

- 18.(2020) Pengembangan herbal penurun kadar kolesterol dan peningkat sistem imun berbasis tumbuhan asli Kalimantan Timur untuk menurunkan risiko pasien COVID-19 dengan komorbid (Ketua Peneliti). Kemenristek/BRIN dan LPDP. Rp. 150.000.000.
- 19.(2020) Mekanisme aksi senyawa untuk meningkatkan sistem kekebalan tubuh dan anti-COVID-19 secara penambatan molekuler dari isolat rimpang *Curcuma aeruginosa* Roxb (Ketua Peneliti). Kemenristek/BRIN. Rp. 236.990.000.
- 20.(2019) Mekanisme aksi senyawa antiasma dari rimpang *Curcuma aeruginosa* Roxb. dalam bentuk ekstrak dan isolat (Ketua Peneliti). Kemenristekdikti. Rp. 164.655.000.
- 21.(2019) Invensi Ramuan Herbal Asma dari Tumbuhan Obat Kaltim (Anggota Peneliti). Kemenristekdikti. Rp. 262.430.000.
- 22.(2019) Isolasi Zat Aktif dari Bee Pollen, Madu, dan Propolis dari Lebah *Homotrigona fimbriata* (Lebah Tanpa Sengat) sebagai Bahan Dasar Obat dan Kosmetik (Anggota Peneliti). Kemenristekdikti. Rp. 204.895.000.
- 23.(2018) Mekanisme aksi senyawa antiasma dari rimpang *Curcuma aeruginosa* Roxb. dalam bentuk ekstrak dan isolat (Ketua Peneliti). Kemenristekdikti. Rp.114.310.000.
- 24.(2018) Invensi Ramuan Herbal Asma dari Tumbuhan Obat Kaltim (Anggota Peneliti). Kemenristekdikti. Rp.70.000.000.
- 25.(2017) Invensi Ramuan Herbal Asma dari Tumbuhan Obat Kaltim (Anggota Peneliti). Kemenristekdikti. Rp.70.000.000.
- 26.(2016) Uji Aktivitas Antiinflamasi dari Tiga Tumbuhan Obat Berdasarkan Data Etnobotani Hasil Riset Tumbuhan Obat dan Jamu (RISTOJA) Tahun 2015 di Kalimantan Utara (Ketua Peneliti). Kementerian Kesehatan. Rp.141.495.000.

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. (2020) Pusat Pengobatan, Penelitian dan Pendidikan Komplementer Universitas Mulawarman (Anggota Program). Kemenristek/BRIN. Rp. 150.000.000.
2. (2019) Pusat Pengobatan, Penelitian dan Pendidikan Komplementer Universitas Mulawarman (Anggota Program). Kemenristekdikti. Rp. 150.000.000.
3. (2018) Pusat Pengobatan, Penelitian dan Pendidikan Komplementer Universitas Mulawarman (Anggota Program). Kemenristekdikti. Rp. 150.000.000.
4. (2018) Optimalisasi pos pembinaan terpadu penyakit tidak menular di Desa Loa Kumbar, Kecamatan Sungai Kunjang, Samarinda, Kalimantan Timur (Ketua Program). Kemenristekdikti. Rp.40.000.000.

RIWAYAT PUBLIKASI INTERNASIONAL

1. **Paramita, S.**, Toruan, V.M.L., Rahma, K., Zubaidah, M., Arung, E.T., and Kusuma, I.W. 2024. Stingless Bee Propolis Review as Biocosmetics for Anti-acne, Anti-aging, and Skin-whitening. *Journal of Apicultural Science*, 68(2), pp.79-106.
2. **Paramita, S.**, Arung, E.T., Syafrizal, S. and Naibaho, N.M., 2024. Antioxidant Activities and Phytochemical Composition of Stingless Bee (*Heterotrigona itama*) Honey Collected from *Calliandra Calothyrsus* Plantation in East Kalimantan, Indonesia. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 24(2), pp.325-337.
3. Fikriah, I., Masruhin, M.A., **Paramita, S.**, Marlina, E., Panggabean, A.S., Ismail, S., Kusuma, I.W., Kim, Y.U. and Kim, S.Y., 2024. Acute toxicity, secondary metabolites, and antioxidant activity of *Macaranga tanarius* from post-coal mining and non-mining

- areas in East Kalimantan, Indonesia. *Narra J*, 4(2), p.e791.
4. Ramadhan, R., Kusuma, I.W., **Paramita, S.**, Amen, Y., Kim, Y.U., Fatriasari, W., Shimizu, K. and Arung, E.T., 2024. Cytotoxicity evaluation of phytochemicals from stingless bee (*Tetragonula biroii*) propolis. *Toxicon*, p.107352.
 5. Fikriah, I., Masruhim, M.A., Marliana, E., Panggabean, A.S., Ismail, S., Kusuma, I.W. and **Paramita, S.**, 2025. Antioxidant Activity of Mahang Leaves from Post-Coal Mining Revegetated Areas in East Kalimantan. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1447, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
 6. Palupi, N.P., Kesumaningwati, R., Subeki, S., Mujiono, K., Sofian, S., **Paramita, S.** and Arung, E.T., 2023. The use of animal manure for improving chemical properties of degraded Ultisol, yield, and secondary metabolic of *Zingiber montanum*. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(1), pp.4847-4862.
 7. Rosamah, E., Haqiqi, M.T., Putri, A.S., Kuspradini, H., Kusuma, I.W., Amirta, R., Yuliansyah, Y., Suwinarti, W., **Paramita, S.**, Ramadhan, R. and Tarmadi, D., 2023. The potential of Macaranga plants as skincare cosmetic ingredients: A review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 13(7), pp.1-12.
 8. Setyawan, A.B., Satria, A.P., Arung, E.T., **Paramita, S.**, 2023. Effect of Bee Pollen Kelulut Bees on HbA1C in Type 2 Diabetes Mellitus Patients. *Malaysia Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 19(1), pp.56-60.
 9. Arung, E.T., Kusuma, I.W., **Paramita, S.**, Amen, Y., Kim, Y.U., Naibaho, N.M., Ramadhan, R., Ariyanta, H.A., Fatriasari, W. and Shimizu, K., 2023. Antioxidant, anti-inflammatory and anti-acne activities of stingless bee (*Tetragonula biroii*) propolis. *Fitoterapia*, p.105375.

10. Setyawan, A.B., Satria, A.P., Arung, E.T., **Paramita, S.**, 2023. Anti-Diabetic Activity of Bee Pollen Dry Extract Standardized in Alloxan-Induced Diabetic Rat. *Systematic Review Pharmacy*, 14(2), pp.91-93.
11. Arung, E.T., Ramadhan, R., Mandzikh, L.D., Santoso, P.A., Matsumoto, M., Nagata, M., Kusuma, I.W., **Paramita, S.**, Sukemi, Yadi, Takemoto, N., Amen, Y., Syafrizal, Shimizu, K., Tandirogang, N. 2022. Screening of Selected Stingless Bee Honey Varieties for ACE2-Spike Protein-Binding Inhibition Activity: A Potential Preventive Medicine Against SARS-Cov-2 Infection. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, 29(5), pp.146-153.
12. Putri, A.S., Haqiqi, M.T., Kusuma, I.W., Kuspradini, H., Rosamah, E., Amirta, R., **Paramita, S.**, Ramadhan, R., Lubis, M.A.R., Ariyanta, H.A., Aswandi, A., Kholibrina, C.R., Ismayanti, M., Fatriasari, W., Tarmadi, D., Yuliansyah, Y., Suwinarti W., Kim Y-U. and Arung, E.T., 2022. A Mini Review: The Application of Eupatorium Plants as Potential Cosmetic Ingredients. *Cosmetics*, 9(5), p.103.
13. Tandirogang, N., Anitasari, S., Arung, E.T., **Paramita, S.** and Shen, Y.K., 2022. Evaluations of Antibacterial Properties of Zingiber purpureum Essential Oil Against 13 Different Gram-positive and Gram-negative Bacteria. *The Indonesian Biomedical Journal*, 14(3), pp.303-8.
14. Supandi, S., Wulandari, M.S., Samsul, E., Azminah, A., Purwoko, R.Y., Herman, H., Kuncoro, H., Ibrahim, A., Ambarwati, N.S.S., Rosmalena, R., Azizah, R.N., **Paramita, S.**, Ahmad, I., 2022. Dipeptidyl peptidase IV inhibition of phytocompounds from Artocarpus champeden (Lour.) Stokes: In silico molecular docking study and ADME-Tox prediction approach. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 13(3), pp.207-215.

15. Pardosi, D.R.S., Purnamasari, C.B., **Paramita, S.**, Astuti, L.A., Masyhudi, M., Arung, E.T., 2022. Antibacterial activity of bangle rhizome essential oil (*zingiber montanum*) against streptococcus mutans. *Journal of Dentomaxillofacial Science*, 7(1), pp.5-8.
16. Ahmad, I., Prabowo, W.C., Arifuddin, M., Fadraersada, J., Indriyanti, N., Herman, H., Purwoko, R.Y., Nainu, F., Rahmadi, A., **Paramita, S.** and Kuncoro, H., 2022. Mitragyna species as pharmacological agents: From abuse to promising pharmaceutical products. *Life*, 12(2), p.193.
17. Arung, E.T., Ramadhan, R., Khairunnisa, B., Amen, Y., Matsumoto, M., Nagata, M., Kusuma, I.W., **Paramita, S.**, Tandirogang, N., Takemoto, N. and Kim, Y.U., 2021. Cytotoxicity effect of honey, bee pollen, and propolis from seven stingless bees in some cancer cell lines. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), pp.7182-7189.
18. **Paramita, S.**, Ismail, S., Moerad, E.B. and Marlina, E., 2021. A short overview of Curcuma aeruginosa with curative potentials against COVID-19. *Asian Journal of Chemistry*, 33(4), pp.789-792.
19. Sukemi, S., Yasir, Y., **Paramita, S.** and Arung, E.T., 2021, April. DPPH-Scavenging Activity of Propolis of Tetragonula iridipennis from East Kalimantan. In *Joint Symposium on Tropical Studies (JSTS-19)* (pp. 320-322). Atlantis Press.
20. **Paramita, S.**, Ismail, S., Marlina, E. and Moerad, E.B., 2019. Anti-inflammatory activities of Curcuma aeruginosa with membrane stabilization and carrageenan-induced paw oedema test. *EurAsian Journal of BioSciences*, 13(2), pp.2389-2394.
21. **Paramita, S.**, Aminyoto, M., Ismail, S. and Arung, E.T., 2018. Anti-hypercholesterolemic effect of Zingiber montanum extract. *F1000Research*, 7(1798), p.1798.
22. **Paramita, S.**, Moerad, E.B., Ismail, S. and Marlina, E., 2018. Antiasthmatic effect of Curcuma

- aeruginosa extract on isolated organ of the trachea. *F1000Research*, 7(1799), p.1799.
23. Yuniati, Y., Hasanah, N., Ismail, S., Anitasari, S. and **Paramita, S.**, 2018. Antibacterial activity of dracontomelon dao extracts on methicillin-resistant *S. Aureus* (MRSA) and *E. Coli* multiple drug resistance (MDR). *African Journal of Infectious Diseases*, 12(1S), pp.62-67.
24. **Paramita, S.**, Kosala, K., Dzulkifli, D., Saputri, D.I. and Wijayanti, E., 2017. Anti-inflammatory activities of ethnomedicinal plants from Dayak Abai in North Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(4), pp.1556-1561.

RIWAYAT PUBLIKASI NASIONAL

1. Tambunan, N.C.N., **Paramita, S.**, Rahma, K. and Toruan, V.M.L., 2025. Potensi Minyak Asiri Rimpang Bangle (*Zingiber purpureum* Roxb.) Sebagai Antioksidan. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*, 12(5), pp.965-972.
2. Sallata, K.B., Astuti, L.A., Alhawaris, Listiyawati, and **Paramita, S.**, 2024. Perbandingan Uji Aktivitas Antibakteri Sarang Semut (*Myrmecodia tuberosa* Jack) Kalimantan terhadap Pertumbuhan Bakteri *Treponema denticola* Penyebab Penyakit Infeksi Periodontal. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 6(4), pp.737-743.
3. Syahdumawarta, L.I., Toruan, V.M.L., **Paramita, S.** and Zubaidah, M., 2024. Larvicidal Activity of *Zingiber purpureum* Roscoe Essential Oil from East Kalimantan in Preventing Dengue Hemorrhagic Fever. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 5(9), pp.3609-3614.
4. Arung, E.T., Ardy, A., Syafrizal, S., Naibaho, N. and **Paramita, S.**, 2024. Kandungan fitokimia dan aktivitas antibakteri madu *Heterotrigona itama* yang ditenakkan pada areal tumbuhan caliandra

- (*Calliandra culothyrsus*) terhadap bakteri *Escherichia coli*. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, 8(1), pp.111-115.
5. Takdir, A.Q., Purnamasari, C.B., Ompusunggu, N.Y., **Paramita, S.** and Yani, S., 2024. Antibacterial Activity of Stingless Bee Propolis (*Heterotrigona itama*) Ethanol Extract on Dental Root Canal Bacteria Growth in Vitro. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 5(4), pp.1127-1133.
 6. Dewi, J.K., Toruan, V.M.L., **Paramita, S.** and Arung, E.T., 2024. A Dermatological Safety Test of a Face Serum Formulation Derived from Honey and Propolis of Stingless Bee from East Kalimantan. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 5(3), pp.748-754.
 7. Riadh, D.N. **Paramita, S.** and Yadi, Y., 2024. Application of Dayak Onion (*Eleutherine bulbosa* Urb.) as a Preservative for Animal Protein: Chicken Meat. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 5(2), pp.375-382.
 8. Palupi, N.P., Safitri, N., Ningrum, T.S., Huzaeni, E.M., Arifin, S., Arung, E.T., Kusuma, I.W., Manullang, J.R., **Paramita, S.**, 2023. Pendampingan Petani untuk Penanaman Sumber Pakan Lebah Madu Kelulut di Desa Bangun Rejo, Kutai Kartanegara. *ABDIKU: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman*, 2(2), pp.37-42.
 9. **Paramita, S.**, Kusuma, I.W., Manullang, J.R., Palupi, N.P. and Sari, A.M., Arung, E.T., 2023. Pendampingan Petani Madu Kelulut di Kabupaten Kutai Kartanegara untuk Distribusi Madu Skala Nasional. *ABDIKU: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman*, 2(1), pp.56-63.
 10. **Paramita, S.**, Suwasono, R.A., Lasmito, L., Setyasih, I., Ariyanto, A., Mulyadi, R., Sulistioadi,

- Y.B., 2022. Vegetation Diversity of Hemaq Beniung Customary Forest, West Kutai, East Kalimantan. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 11(2), pp.111-123.
11. **Paramita, S.** and Yunita, F., 2022, Ekstrak Daun Zaitun (*Olea europaea* L.) untuk Tata Laksana Hipertensi. *Medicinus*, 35(1), pp.46-49.
 12. Panggabean, Y., Marliana, E., Hairani, E., **Paramita, S.** and Ismail, S., 2020. Isolasi dan Identifikasi Senyawa Metabolit Sekunder dari Rimpang Temu Hitam (*Curcuma aeruginosa* Roxb.). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 18(1), pp.12-15.
 13. Rahmatillah, R., **Paramita, S.** and Yadi, Y., 2020. Anti-Inflammatory Activity Of Stingless Bee Honey (*Homotrigona fimbriata*) From East Kalimantan Tropical Rainforest. *MCTrops*, 1(1), pp.10-17.
 14. **Paramita, S.**, Fitriany, E., Tiyantara, M.S., Setyorini, A. and Cahyasit, T.E., 2018. Comparison of Adherence to the Use of Herbal Medicine with Conventional Medicine in Hypertensive Patients at Lempake Public Health Center, Samarinda City. *Health Science Journal of Indonesia*, 9(2), pp.82-86.
 15. **Paramita, S.** and Nuryanto, M.K., 2018. Aktivitas anti peradangan ekstrak etanol umbi bawang dayak (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb.). *Journal of Vocational Health Studies*, 2(51-55), pp.2018-51.
 16. Ismail, S., **Paramita, S.**, Aminyoto, M., Bakhtiar, R. and Kosala, K., 2018. Layanan Komplementer di Klinik Universitas pada Pengembangan Usaha Produk Intelektual Kampus. *Jurnal SOLMA*, 7(2), pp.168-175.
 17. Nataliani, M.M., Kosala, K., Fikriah, I., Isnwardana, R. and **Paramita, S.**, 2018. Pengaruh penyimpanan dan pemanasan terhadap stabilitas fisik dan aktivitas antioksidan larutan pewarna alami daging buah naga (*Hylocereus costaricensis*). *Jurnal Tumbuhan Obat Indonesia*, 11(1), pp.1-10.

18. **Paramita, S.**, Yasir, Y., Yuniati, Y. and Sina, I., 2018. Analisis bioautografi kromatografi lapis tipis dan aktivitas antibakteri ekstrak etanol bawang tiwai (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb.) terhadap Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(9), pp.470-478.
19. **Paramita, S.**, Moerad, E.B., Ismail, S. and Marlina, E., 2018. Tracheospasmolytic and anti-inflammatory activity of indigenous *Curcuma* species as traditional antiasthmatic medicines. *Nusantara Bioscience*, 10(2), pp.105-110.
20. Nuryanto, M.K., **Paramita, S.** and Iskandar, A., 2018, April. Membrane stabilization activity as anti-inflammatory mechanisms of *Vernonia amygdalina* leaves extracts. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 144, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
21. **Paramita, S.**, Kosala, K. and Sari, I.N., 2017. Penggunaan Suplemen Bahan Alam oleh Pasien Demam Berdarah Dengue di Kalimantan Timur. *Jurnal Tumbuhan Obat Indonesia*, 10(1), pp.1-13.
22. Moerad, E.B., **Paramita, S.**, Iskandar, A., Ismail, S., Pratiningrum, M. and Irawiraman, H., 2017. Uji Aktivitas Trakeospasmolitik Ekstrak Etanol *Centella asiatica* (L.) Urb. pada Organ Terpisah Trakea Marmut untuk Melihat Efek Antiasma. *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry*, 4(2), pp.52-59.
23. Nuryanto, M.K., **Paramita, S.**, Iskandar, A., Ismail, S. and Ruslim, A.K., 2017. Aktivitas anti-inflamasi in vitro ekstrak etanol daun *vernonia amygdalina* delile dengan pengujian stabilisasi membran. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(8), pp.402-407.
24. **Paramita, S.**, Isnuwardana, R., Nuryanto, M.K., Djalung, R., Rachmawatiningtyas, D.G. and

- Jayastris, P., 2017. Pola penggunaan obat bahan alam sebagai terapi komplementer pada pasien hipertensi di puskesmas. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(7), pp.367-376.
25. Tandirogang, N., **Paramita, S.**, Yasir, Y., Yuniati, Y., Aminyoto, M. and Fitriany, E., 2017. Aktivitas antimikroba ekstrak Daun Karamunting (*Melastoma malabathricum* L.) terhadap bakteri penyebab diare. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(7), pp.345-351.
26. Yasir, Y., Yuniati, Y., **Paramita, S.**, Zubaidah, M., Mu'ti, A. and Danial, D., 2017. Analisis bioautografi dengan kromatografi lapis tipis pada ekstrak etanol daun *Caesalpinia sumatrana* roxb. Terhadap bakteri penyebab infeksi nosokomial. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(7), pp.359-366.
27. Pasaribu, M., Tandirogang, N., Ismail, S., **Paramita, S.**, Magdaleni, A.R. and Nugroho, H., 2017. Potensi Ekstrak Etanol Rimpang Jeringau (*Acorus calamus* L.) Sebagai Spasmolitik. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(7), pp.338-344.
28. **Paramita, S.**, 2016. Tahongai (*Kleinhovia hospita* L.): Review sebuah tumbuhan obat dari Kalimantan Timur. *Jurnal Tumbuhan Obat Indonesia*, 9(1), pp.29-36.
29. Rijal, S., Miskad, U.A., Achmad, D., Masadah, R., Daud, D., Kaelan, C., Rahawarin, H., **Paramita, S.** and Yasir, Y., 2016. Evaluation of Anti-ulcerogenic Activity in Oil Extract of Jintan Hitam (*Nigella sativa*) Against Ethanol Induced Gastric Ulcer in Mice (*Mus musculus*). *American Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 4(6), pp.179-184.
30. Merindasari, D., **Paramita, S.** and Ismail, S., 2014. Efek Hepatoprotektif Secara In Vitro Terhadap Tanaman Obat (Studi Terhadap Skripsi Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Mulawarman Angkatan 2001-2009). *JIMKI: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kedokteran Indonesia*, 2(2), pp.6-13.

KARYA BUKU

1. **Paramita, S.**, Kusuma, I.W., Sulistioadi, Y.B. and Kiswanto, 2024. Environmental and Safety Aspects of Bio-based Cosmetics in Indonesia. In *Biomass-based Cosmetics: Research Trends and Future Outlook* (pp. 545-568). Singapore: Springer Nature Singapore.
2. **Paramita, S.**, Arbain, A., Rahmadi, A., and Kiswanto, K., 2020. Lansia Sebagai Kelompok Rentan COVID-19 di Kalimantan Timur. In *Pembelajaran Baik Kuliah Kerja Nyata Tematik COVID-19 secara Daring* (pp. 153-158). Jakarta: Forum Perguruan Tinggi untuk Pengurangan Risiko Bencana (FPT PRB).
3. **Paramita, S.**, Yasir, Y., and Yuniati, Y., 2020. Potensi Bawang Tiwai (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb.) sebagai Komponen Antibakteri Berbahan Dasar Alam Untuk Kosmetika. In *Tropical Studies: Potensi Permasalahan Hutan Tropika Lembap dan Lingkungannya* (pp. 55-70). Bogor: IPB Press.
4. **Paramita, S.**, and Rahmadi, A., 2020. *Tropical Studies: Potensi Permasalahan Hutan Tropika Lembap dan Lingkungannya*. Bogor: IPB Press.
5. **Paramita, S.**, Rahmadi, A., Winata, A., and Mulya, A.B., 2020. *Ainul Hayat: Sebuah Manuskrip Arab untuk Memperpanjang Usia*. Bogor: IPB Press.

RIWAYAT HKI (HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL)

1. (2024) Losion Anti Nyamuk Berbasis Minyak Atsiri Bangalai. IDS000008586.
2. (2024) Metode untuk Menghasilkan Simplisia Bangalai melalui Blansir. IDS000008439.
3. (2023) Komposisi Pencegah Jerawat dari Ekstrak Propolis. IDP000005741.
4. (2023) Formulasi Krim Bibir (Lip Cream) dari Lemak Tengkawang (*Shorea mecistopteryx*) dan

- Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*). S00202314822 (Paten Terdaftar).
5. (2023) Metode Pengurangan Kadar Air dari Madu Kelulut. S00202310720 (Paten Terdaftar).
 6. (2022) Komposisi Herbal untuk Asma. IDP000083094.
 7. (2022) Proses Pembuatan Ekstrak Akar Tambolear (*Coptosapelta flavescens* Korth) dan Penggunaannya sebagai Bronkodilator. IDS000004868.
 8. (2021) Ekstrak Etanol Absolut Herbal Batang Kalok (*Amomum xanthophlebium*) yang Digunakan sebagai Analgesik. IDP000079111.
 9. (2019) Proses pembuatan ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) dan penggunaannya sebagai antihipertensi. IDP000062551.
 10. (2019) Proses pembuatan ekstrak herbal dari daun uvah (*Syzygium polyanthum* (Wight) Walpers) dan penggunaannya sebagai spasmolitik. IDP000062550.
 11. (2019). Proses pembuatan ekstrak herbal daun *Clerodendrum b Buchananii* dan penggunaannya sebagai antiperadangan. IDP000062402.
 12. (2019) Proses pembuatan ekstrak herbal *Centella asiatica* dan penggunaannya sebagai spasmolitik saluran nafas. IDP000056235.

RIWAYAT INVITED SPEAKER INTERNASIONAL

1. (2024) Antioxidant activity of Heterotrigona itama stingless bee honey from Bukit Soeharto Mulawarman University Education Forest at the New Capital City of Indonesia (21st Asian Natural Products Conference. Kyushu University, Japan).
2. (2021) East Kalimantan Local Wisdom Herbal Medicine for Fighting Against COVID-19 (Online Borneo Islamic Conference Series II. Universiti Teknologi Mara Sarawak Malaysia).

3. (2021) Research and Development of Medicinal Plant Products from Tropical Rainforest: Post-Harvest Processing Unit of Mulawarman University (The 4th International Conference on Agriculture and life Sciences (ICALS). University of Jember).
4. (2020) Natural Products from East Kalimantan Local Wisdom for Fighting Against COVID-19 (The 1st International Conference for Smart Agriculture, Food, and Environment (IC-SAFE). Universitas Sultan Ageng Tirtayasa).
5. (2020) Indonesian Natural Products For Fighting Against Covid-19 (Kyushu University Institute for Asian And Oceanian Studies (Q-AOS) Symposium. Shiiki Hall Ito Campus Kyushu University Japan).
6. (2020) Anti-hypercholesterolemia effects of *Zingiber montanum*: the medicinal plants from Indonesia (The 1st Asian Natural Product Conference (Q-AOS). Kyushu University Japan).
7. (2019) Indonesian Traditional Medicine (Jamu) for High Cholesterol Problems. International CME on Safety of Medicinal Food Products (Department of Pharmacology, Jawaharlal Nehru Medical College, Aligarh Muslim University, Aligarh, India).
8. (2019) Indonesian Traditional Medicine for Health Problems (National Conference on Pharmacovigilance. Institute for Post Graduate Teaching and Research in Ayurveda and Gujarat Ayurved University, Jamnagar, India).

RIWAYAT PELATIHAN

1. (2025) International Student Exchange Program: Forest Study Tour in Japan for Students of the Mulawarman University. Graduate School of Life and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University, Japan. Kyoto, June 14-25, 2025.
2. (2025) Drone Safety and Ethics Training Course. Drone Pilots Association of Indonesia (Asosiasi Pilot Drone Indonesia). Jakarta, 12 Januari 2025.

3. (2024) Pelatihan Sustainable Land Restoration pada Lahan Kritis di Indonesia yang Mendukung FOLU Net Sink 2030. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan – Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, 29 Oktober – 1 November 2024.
4. (2018) Program Pendidikan Tidak Bergelar di Luar Negeri (Overseas Non-Degree Training) Universitas Mulawarman. Institut National Des Sciences Appliquees (INSA), France. Bourges, December 2018 – January 2019.
5. (2018) Pelatihan Dokter Saintifikasi Jamu Tingkat Lanjut Tahun 2018. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Tanaman Obat dan Obat Tradisional. Tawangmangu, 22-28 November 2018.
6. (2018) Pelatihan Cara Uji Klinik yang Baik (*Good Clinical Practice*). Komisi Etik Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Nasional (KEPPKN). Kementerian Kesehatan. Surabaya, 3-5 September 2018.
7. (2018) Training of Trainer Komisi Etik Penelitian & Pengembangan Kesehatan Nasional. Kementerian Kesehatan. Makassar, 26-27 Februari 2018.
8. (2017) Pelatihan 50 Jam Dokter Saintifikasi Jamu. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan. Kementerian Kesehatan dan PT. Martina Berto, Tbk. Cikarang, 17-22 November 2017.
9. (2017) One Health Teaching, Research, and Community Outreach Workshop. INDOHUN (Indonesia One Health University Network) and USAID. Surabaya, 21-23 Maret 2017.

RIWAYAT JABATAN

1. Kepala PUI-PT OKTAL (Pusat Unggulan Ipteks Perguruan Tinggi - Obat dan Kosmetik Bahan Alam Hutan Tropika Lembap dan Lingkungannya) LP2M Universitas Mulawarman (2020 – sekarang).

2. Ketua Tim Kendali Mutu dan Kendali Biaya (TKMKB) Jaminan Kesehatan Nasional (JKN) Tingkat Provinsi Kalimantan Timur (2018-2021).
3. Sekretaris Ikatan Dokter Indonesia Wilayah Kalimantan Timur (2017-2020).

RIWAYAT ORGANISASI

1. Ikatan Dokter Indonesia (IDI)
2. Ikatan Ahli Kesehatan Masyarakat Indonesia (IAKMI)





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. H. Zeni Haryanto, S.Pd., M.Pd.

TEKNOLOGI PEMBELAJARAN FISIKA UNTUK
MENCAPAI PENDIDIKAN BERKUALITAS SESUAI
SDGs

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. H. Zeni Haryanto, S.Pd., M.Pd.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan segala kerendahan hati, kami ingin mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, atas berkah, rahmah, hidayah dan perkenan-Nya, kami dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini.

Penghargaan dan rasa hormat serta terima kasih yang sebesar-besarnya kami haturkan kepada Rektor dan jajaran pimpinan Universitas Mulawarman serta Ketua, Sekretaris dan anggota Senat Universitas Mulawarman, atas kesempatan yang diberikan kepada kami untuk menyampaikan orasi ilmiah pada Sidang Terbuka Senat Universitas Mulawarman ini.

Orasi ini berisi pandangan kami tentang **“Teknologi Pembelajaran Fisika untuk Mencapai Pendidikan Berkualitas Sesuai SDGs”**. Orasi ini kami susun dengan urutan pendahuluan, disusul dengan pilar-pilar teknologi dalam pembelajaran fisika, serta diakhiri dengan kesimpulan. Tulisan ini dilengkapi pula daftar pustaka dan daftar publikasi kami yang ditumpangkan dalam riwayat hidup.

Kami menyadari sepenuhnya keterbatasan kami dalam menyampaikan orasi ini, yang masih jauh dari tercapainya pendidikan berkualitas untuk anak bangsa terutama di Universitas Mulawarman. Terbersit harapan kami agar orasi ilmiah ini dapat menjadi sumbangsih kecil kami untuk tujuan mulia tersebut.

Semoga tulisan ini dapat memberi wawasan, dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Samarinda, 27 September 2025

Zeni Haryanto

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan.....	3
B. Simulasi dan Visualisasi.....	5
C. Pembelajaran Fisika Berbasis Game	9
D. Pemanfaatan Realitas Virtual dan Realitas Tertambah.....	12
E. Kecerdasan Buatan.....	16
F. Kesimpulan	19
DAFTAR PUSTAKA.....	20
UCAPAN TERIMA KASIH	24
CURRICULUM VITAE.....	25

SINOPSIS

TEKNOLOGI PEMBELAJARAN FISIKA UNTUK MENCAPAI PENDIDIKAN BERKUALITAS SESUAI SDGs

Fisika memiliki peran sentral dalam memahami lingkungan dan kemajuan teknologi. Fisika dan Teknologi ibarat dua sisi mata uang yang saling mendukung kemajuannya. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran fisika adalah sebuah keniscayaan untuk tercapainya pendidikan yang berkualitas.

Tantangan yang banyak muncul dalam pembelajaran fisika adalah adanya konsep yang abstrak, sulit dipahami, serta kurang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Maka dalam hal ini dibutuhkan teknologi pembelajaran yang dapat mengkonkritkan konsep yang abstrak, mempermudah pemahaman konseptual, serta menjembatani “dunia fisika” dengan realitas kehidupan sehari-hari.

Pilar-Pilar Teknologi Pembelajaran Fisika yang berkembang dan menjadi perhatian saya dalam beberapa tahun terakhir ini antara lain:

1. Simulasi dan Visualisasi: Pentingnya simulasi interaktif, contoh: PhET Interactive Simulations, Wolfram Alpha dan lain lain untuk memvisualisasikan konsep abstrak dan eksperimen virtual. Adanya software ini menjadi bukti bagaimana teknologi memungkinkan eksperimen yang sulit atau berbahaya di lab fisik bisa dilakukan secara virtual atau bahkan jarak jauh.
2. Pembelajaran Berbasis Game: elemen game dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan motivasi dan keterlibatan mahasiswa dalam mempelajari fisika.
3. Pemanfaatan Realitas Virtual (VR) dan Realitas Tertambah (AR), Contoh Aplikasi VR dalam Fisika: Eksplorasi tata surya, perjalanan ke dalam atom, atau memahami medan magnet dalam lingkungan

- imersif. Contoh Aplikasi AR dalam Fisika: Menumpangkan informasi digital (grafik, formula) ke objek fisik nyata (alat peraga, buku).
4. Kecerdasan Buatan (AI). AI dapat berperan dalam Pendidikan untuk menganalisis pola belajar mahasiswa dan memberikan umpan balik personal. Sehingga dapat dibuat sistem pembelajaran yang menyesuaikan tingkat kesulitan dan materi pembelajaran berdasarkan kemajuan dan pemahaman mahasiswa. AI juga berpotensi sebagai "tutor" virtual yang membantu mahasiswa mengatasi kesulitan konsep fisika.

Dalam beberapa tahun terakhir, Saya bersama tim dosen prodi Pendidikan Fisika Universitas Mulawarman dan sejawat dosen dari perguruan tinggi lain di Indonesia serta mahasiswa bimbingan saya telah melakukan riset dan pengabdian masyarakat terkait Pemanfaatan Teknologi Pembelajaran Fisika seperti disebutkan di atas. Para hadirin dapat menelusuri rekam jejak apa yang kami lakukan melalui publikasi kami pada akun saya di Sinta ataupun buku-buku yang sudah kami terbitkan.

A. Pendahuluan

Pendidikan adalah pilar fundamental bagi pembangunan berkelanjutan dan kemajuan peradaban. Agenda Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs) 2030 yang diinisiasi oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa menempatkan Pendidikan Berkualitas (SDG 4) sebagai esensial, dengan target "memastikan pendidikan inklusif dan berkualitas setara serta meningkatkan kesempatan belajar seumur hidup bagi semua" (United Nations, 2015). Di tengah gelombang revolusi industri 4.0 dan kini memasuki era Society 5.0, di mana integrasi teknologi menjadi semakin mendalam dalam setiap aspek kehidupan, transformasi pendidikan menjadi suatu keniscayaan. Sistem pendidikan harus adaptif, responsif, dan inovatif untuk mempersiapkan generasi muda menghadapi kompleksitas tantangan global dan memanfaatkan peluang yang ada (Schwab, 2017).

Fisika, sebagai salah satu cabang ilmu pengetahuan dasar, memegang peranan krusial dalam memahami hukum alam semesta dan menjadi landasan bagi pengembangan teknologi mutakhir. Namun, pembelajaran fisika seringkali dihadapkan pada tantangan inheren seperti konsep yang abstrak, kebutuhan akan visualisasi yang kuat, serta keterbatasan akses terhadap fasilitas eksperimen yang memadai (Rahmawati et al., 2021). Tantangan-tantangan ini dapat menghambat minat belajar mahasiswa dan kualitas pemahaman mereka. Di sinilah teknologi digital menawarkan solusi transformatif. Integrasi teknologi dalam pembelajaran fisika bukan sekadar pelengkap, melainkan instrumen vital untuk menciptakan lingkungan belajar yang interaktif, personal, dan relevan dengan kebutuhan keterampilan abad ke-21. Teknologi memungkinkan visualisasi fenomena yang kompleks, simulasi eksperimen berbahaya atau mahal, serta akses ke

sumber belajar global yang tak terbatas, membuka dimensi baru dalam eksplorasi ilmiah dan pengembangan kemampuan berpikir kritis mahasiswa (Johnson et al., 2022).

Perkembangan pesat teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah mengubah paradigma pendidikan secara radikal, dari model klasikal yang berpusat pada guru menjadi pendekatan yang lebih berorientasi pada mahasiswa (student-centered). Berbagai inovasi teknologi seperti simulasi interaktif, laboratorium virtual, augmented reality (AR), virtual reality (VR), platform pembelajaran adaptif berbasis kecerdasan buatan (AI), dan analisis data pembelajaran (learning analytics) kini semakin mudah diakses dan terbukti efektif dalam meningkatkan pengalaman belajar fisika. Teknologi ini memungkinkan mahasiswa untuk melakukan eksplorasi mandiri, memecahkan masalah melalui pendekatan inkuiri, serta mendapatkan umpan balik instan, yang semuanya berkontribusi pada pemahaman konsep yang lebih mendalam dan retensi informasi yang lebih baik (Hwang & Chen, 2023; Dabbagh & Kitsantas, 2012).

Pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran fisika secara langsung berkontribusi pada pencapaian berbagai target dalam SDG 4. Misalnya, target 4.4 yang menekankan peningkatan jumlah pemuda dan orang dewasa yang memiliki keterampilan relevan untuk pekerjaan, pekerjaan layak, dan kewirausahaan, dapat dicapai melalui pengembangan literasi digital dan keterampilan komputasi yang terintegrasi dalam pembelajaran fisika berbasis teknologi. Teknologi juga berperan besar dalam menjembatani kesenjangan akses pendidikan, sejalan dengan target 4.5 yang berfokus pada penghapusan disparitas dan pemerataan akses pendidikan bagi kelompok rentan. Melalui platform daring dan sumber daya digital, pembelajaran fisika dapat diakses oleh mahasiswa di daerah terpencil atau mereka yang memiliki

keterbatasan fisik, memastikan bahwa "tidak ada seorang pun yang tertinggal" (no one left behind). Lebih dari itu, teknologi memfasilitasi pembelajaran personalisasi, memungkinkan instruktur untuk menyesuaikan konten dan kecepatan belajar dengan kebutuhan individu mahasiswa, sehingga memaksimalkan potensi setiap pembelajar dan menghasilkan lulusan yang tidak hanya menguasai fisika tetapi juga siap menjadi inovator di era digital (Molnar et al., 2020).

Pada bagian berikut akan disajikan deskripsi pilar-pilar teknologi dalam pembelajaran fisika yang telah dilakukan, diantaranya teknologi simulasi dan visualisasi, teknologi game, teknologi realitas virtual dan realitas tertambah, serta teknologi kecerdasan buatan.

B. Simulasi dan Visualisasi

Simulasi interaktif dan visualisasi telah menjadi instrumen pedagogis yang tak terpisahkan dalam pendidikan fisika modern. Simulasi interaktif merujuk pada representasi dinamis dari sistem atau fenomena fisika yang memungkinkan pengguna untuk secara aktif memanipulasi parameter, mengamati respons *real-time*, dan menganalisis dampaknya (Wieman, 2017). Berbeda dengan video atau animasi pasif, esensi simulasi interaktif terletak pada kapasitasnya untuk memfasilitasi eksperimentasi virtual. Mahasiswa dapat mengubah variabel seperti massa, energi, atau konfigurasi medan, lalu seketika melihat bagaimana perubahan tersebut memengaruhi perilaku sistem, misalnya dalam simulasi gerak harmonik sederhana atau interaksi partikel subatomik (Perkins et al., 2012).

Sementara itu, visualisasi adalah proses penerjemahan data abstrak, konsep, atau fenomena yang tidak terlihat menjadi bentuk grafis yang dapat dipahami (Johnson et al., 2020). Dalam fisika, visualisasi mencakup spektrum luas, mulai dari grafik,

diagram vektor, model 3D struktur atom, hingga animasi yang menggambarkan propagasi gelombang atau dinamika fluida. Tujuannya adalah untuk membantu mahasiswa membangun model mental yang akurat dan intuitif tentang konsep fisika, menjembatani jurang antara teori abstrak dan realitas fisik yang mendasarinya (Ainsworth & Loizou, 2018).

Peran krusial kedua pendekatan ini dalam pembelajaran fisika tak terbantahkan. Fisika seringkali melibatkan konsep yang sangat abstrak, fenomena yang terjadi pada skala yang ekstrem (mikroskopis atau makroskopis), atau membutuhkan kondisi eksperimen yang sulit dicapai di lingkungan kelas. Simulasi dan visualisasi berfungsi sebagai jembatan yang kuat untuk mengatasi hambatan-hambatan ini. Mereka memungkinkan mahasiswa untuk "melihat" apa yang tidak dapat diobservasi langsung, "melakukan" eksperimen yang secara fisik tidak mungkin atau terlalu berbahaya, dan "menjelajahi" kompleksitas yang sebelumnya hanya dapat dibayangkan, sehingga membuat pembelajaran lebih konkret, menarik, dan bermakna (Cheng & Tsai, 2021).

Integrasi simulasi interaktif dan visualisasi dalam kurikulum fisika telah terbukti memberikan sejumlah manfaat pedagogis yang substansial:

1. Meningkatkan Pemahaman Konseptual dan Penalaran Ilmiah: Dengan simulasi, mahasiswa secara aktif terlibat dalam proses penemuan, memanipulasi variabel untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat. Ini membantu mereka membangun pemahaman konseptual yang lebih dalam daripada hanya menghafal rumus (Wieman, 2017). Visualisasi, di sisi lain, membantu mahasiswa membentuk representasi mental yang jelas tentang fenomena abstrak, seperti distribusi medan listrik atau sifat gelombang partikel, yang sulit divisualisasikan tanpa bantuan (Chen et al., 2021). Studi menunjukkan bahwa penggunaan simulasi interaktif dapat secara signifikan

- meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam menerapkan prinsip fisika ke situasi baru dan memecahkan masalah (Peralta et al., 2023).
2. Meningkatkan Keterlibatan dan Motivasi Belajar: Sifat interaktif dan eksploratif dari simulasi secara inheren menarik bagi mahasiswa, mengubah mereka dari penerima pasif menjadi peserta aktif dalam proses pembelajaran. Kemampuan untuk secara langsung melihat hasil dari manipulasi mereka sendiri memicu rasa ingin tahu, eksperimentasi, dan motivasi intrinsik. Visualisasi yang dirancang dengan baik juga dapat membuat topik yang rumit menjadi lebih menarik secara visual dan kognitif (Ribeiro et al., 2020). Platform seperti PhET Interactive Simulations (University of Colorado Boulder) adalah contoh utama bagaimana desain yang berpusat pada pengguna dapat meningkatkan keterlibatan mahasiswa secara drastis.
 3. Mengembangkan Keterampilan Inkuiri dan Pemecahan Masalah: Simulasi menyediakan lingkungan yang aman dan fleksibel bagi mahasiswa untuk berlatih keterampilan ilmiah esensial, termasuk merumuskan hipotesis, merancang eksperimen, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti (Rutten et al., 2012). Mahasiswa dapat melakukan percobaan berulang kali tanpa batasan biaya, waktu, atau keamanan, yang memungkinkan mereka untuk belajar dari kesalahan dan mengembangkan strategi pemecahan masalah yang efektif. Visualisasi data hasil simulasi juga melatih kemampuan interpretasi grafik dan identifikasi pola.
 4. Memfasilitasi Pembelajaran Daring dan Aksesibilitas: Di era pendidikan digital, simulasi dan visualisasi menjadi krusial untuk pembelajaran jarak jauh. Mereka menyediakan pengalaman laboratorium virtual yang dapat

diakses dari mana saja, menjembatani kesenjangan akses terhadap fasilitas fisik dan mendukung kesetaraan pendidikan sesuai SDG 4 (UNESCO, 2020). Bagi mahasiswa dengan kebutuhan khusus atau di daerah terpencil, teknologi ini membuka peluang belajar yang sebelumnya tidak mungkin. Selain itu, kemampuan untuk menyesuaikan kecepatan dan fokus dalam simulasi memungkinkan pembelajaran yang lebih personal dan adaptif terhadap kebutuhan individu mahasiswa (Hwang & Chen, 2023).

5. Menjembatani Teori dan Fenomena Dunia Nyata: Simulasi dan visualisasi memungkinkan mahasiswa untuk secara langsung melihat bagaimana prinsip-prinsip teoritis fisika yang mereka pelajari di kelas bermanifestasi dalam fenomena yang dapat diamati. Misalnya, konsep hukum kekekalan energi dapat divisualisasikan melalui transformasi energi kinetik dan potensial dalam gerakan *roller coaster* virtual, sementara simulasi dapat menunjukkan perilaku gelombang suara dalam berbagai medium. Ini memperkuat pemahaman mereka tentang relevansi fisika dalam menjelaskan dunia sekitar.

Implementasi simulasi dan visualisasi dalam pembelajaran fisika dapat bervariasi luas. Guru dapat mengintegrasikannya sebagai demonstrasi interaktif di kelas, sebagai bagian dari kegiatan laboratorium virtual, sebagai tugas proyek individu, atau sebagai alat revisi mandiri. Perkembangan terbaru dalam realitas virtual (VR) dan realitas tertambah (AR) menawarkan pengalaman yang semakin imersif, memungkinkan mahasiswa untuk "masuk" ke dalam fenomena fisika atau memproyeksikan visualisasi 3D ke lingkungan fisik mereka, meskipun adopsinya masih bergantung pada ketersediaan perangkat keras (Parong & Mayer, 2021). Kunci keberhasilan bukan hanya pada ketersediaan alat, melainkan pada desain

pedagogis yang cermat yang memandu mahasiswa untuk menggunakan simulasi dan visualisasi secara efektif, mendorong refleksi kritis, diskusi kolaboratif, dan koneksi mendalam antara pengalaman virtual dengan konsep fisika yang mendasarinya.

Penggunaan Simulasi interaktif dan visualisasi ini dalam pembelajaran fisika sudah lama kami lakukan, apalagi pada masa pembelajaran online. Demikian juga pelaksanaan penelitian terhadap penggunaan simulasi interaktif PhET dan simulasi lainnya telah dilakukan oleh mahasiswa bimbingan kami dan menghasilkan publikasi ilmiah.

C. Pembelajaran Fisika Berbasis Game

Pembelajaran fisika berbasis game (Game-Based Learning in Physics) merujuk pada integrasi elemen-elemen game atau penggunaan game yang dirancang khusus sebagai medium utama dalam proses belajar mengajar fisika. Pendekatan ini memanfaatkan prinsip-prinsip desain game seperti narasi, tantangan, *feedback* instan, sistem poin, level, dan kompetisi, untuk menciptakan pengalaman belajar yang imersif dan menarik (Plass et al., 2015). Berbeda dengan gamifikasi, yang hanya menerapkan elemen game ke dalam konteks non-game, pembelajaran berbasis game menggunakan game itu sendiri sebagai lingkungan belajar yang kohesif. Dalam konteks fisika, game bisa berupa simulasi interaktif yang dikemas dalam bentuk narasi petualangan, teka-teki yang diselesaikan dengan menerapkan hukum fisika, atau bahkan lingkungan virtual yang memungkinkan eksplorasi fenomena fisika secara bebas (Gee, 2007).

Potensi pedagogis pembelajaran fisika berbasis game sangat besar, terutama dalam mengatasi tantangan inheren dalam pendidikan fisika yang sering dianggap abstrak dan sulit. Game memiliki kemampuan unik untuk menyajikan konsep-konsep kompleks dalam konteks yang konkret dan relevan,

memungkinkan mahasiswa untuk "bereksperimen" dengan hukum fisika tanpa risiko atau batasan fisik (Fotaris & Mastoras, 2019). Misalnya, game dapat mensimulasikan gerak proyektil di Mars dengan gravitasi yang berbeda, atau memungkinkan pemain untuk merancang sirkuit listrik untuk menyalakan suatu objek di dalam dunia game. Melalui iterasi, eksplorasi, dan penyelesaian masalah dalam lingkungan game, mahasiswa dapat membangun pemahaman konseptual yang lebih dalam dan tahan lama.

Integrasi pembelajaran fisika berbasis game menawarkan sejumlah manfaat pedagogis yang signifikan, selaras dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21:

1. Meningkatkan Keterlibatan dan Motivasi Belajar: Salah satu keunggulan utama game adalah kemampuannya untuk secara intrinsik memotivasi pemain. Tantangan yang terstruktur, *feedback* yang cepat, dan rasa pencapaian saat menyelesaikan level atau misi, dapat secara drastis meningkatkan minat dan keterlibatan mahasiswa dalam topik fisika yang mungkin sebelumnya dianggap membosankan atau sulit (Hamari et al., 2016). Keterlibatan emosional dan kognitif yang tinggi ini berkorelasi positif dengan hasil belajar yang lebih baik.
2. Mengembangkan Pemahaman Konseptual dan Penalaran Ilmiah: Game dapat menyajikan konsep fisika dalam konteks yang dinamis dan visual, memungkinkan mahasiswa untuk mengamati hukum fisika berlaku secara real-time. Misalnya, game yang melibatkan pembangunan jembatan atau struktur lainnya memaksa mahasiswa untuk menerapkan prinsip-prinsip mekanika dan statika secara intuitif. Melalui eksperimentasi berbasis game, mahasiswa dapat menguji hipotesis, menganalisis hasil, dan merevisi pemahaman

- mereka secara berulang, yang merupakan inti dari penalaran ilmiah (Connolly et al., 2012).
3. Mendorong Keterampilan Pemecahan Masalah dan Berpikir Kritis: Banyak game fisika dirancang sebagai teka-teki atau simulasi berbasis masalah yang menuntut mahasiswa untuk menerapkan pengetahuan fisika mereka untuk menemukan solusi. Proses ini melatih kemampuan pemecahan masalah, analisis situasi, dan pengambilan keputusan strategis. Mahasiswa belajar untuk berpikir secara fleksibel dan kreatif untuk mengatasi tantangan yang disajikan dalam game (Sitzmann, 2011).
 4. Menyediakan Pembelajaran Personal dan Adaptif: Beberapa game edukasi berbasis AI dapat menyesuaikan tingkat kesulitan dan konten pembelajaran berdasarkan kinerja individu mahasiswa. Ini memungkinkan pengalaman belajar yang dipersonalisasi, di mana mahasiswa dapat belajar dengan kecepatan mereka sendiri dan fokus pada area yang memerlukan perhatian lebih, sehingga memaksimalkan potensi belajar setiap individu (Eseryel et al., 2014).
 5. Meningkatkan Keterampilan Kolaborasi dan Komunikasi: Banyak game modern, termasuk yang dirancang untuk edukasi, mendukung mode multipemain atau kolaborasi. Hal ini mendorong mahasiswa untuk bekerja sama, berbagi ide, berdiskusi tentang strategi, dan memecahkan masalah fisika secara kolektif. Keterampilan kolaborasi dan komunikasi adalah esensial dalam lingkungan kerja profesional dan penelitian ilmiah (Johnson et al., 2020).

Implementasi pembelajaran fisika berbasis game dapat dilakukan dalam berbagai format. Ini bisa berupa game komputer atau mobile yang dikembangkan secara komersial atau mandiri, atau bahkan game non-digital yang didesain dengan prinsip-prinsip fisika. Tantangannya meliputi

ketersediaan game yang berkualitas tinggi dan sesuai kurikulum, kebutuhan akan infrastruktur teknologi yang memadai, serta pelatihan untuk mengintegrasikan game secara efektif dalam pedagogi mereka (Ke & Clark, 2021). Meskipun demikian, dengan perencanaan yang tepat dan pemilihan game yang bijak, pembelajaran fisika berbasis game menawarkan jalur yang inovatif dan efektif untuk mewujudkan pendidikan fisika yang lebih menarik, relevan, dan memberdayakan bagi mahasiswa di era digital.

Untuk penggunaan teknologi game ini kami sudah melakukan penelitian dan pengajaran sejak lama, dan telah sampai pada tahap mahasiswa bimbingan kami membuat produk game dan telah pula melakukan penelitian yang dipublikasikan.

D. Pemanfaatan Realitas Virtual dan Realitas Tertambah

Virtual Reality (VR) dan Augmented Reality (AR) merepresentasikan lompatan signifikan dalam teknologi imersif yang kini semakin banyak diterapkan dalam pendidikan, termasuk pembelajaran fisika. Virtual Reality menciptakan lingkungan simulasi yang sepenuhnya imersif dan artifisial, di mana pengguna terisolasi dari dunia fisik dan sepenuhnya tenggelam dalam pengalaman digital. Melalui penggunaan *head-mounted displays* (HMD), VR dapat menyajikan skenario fisika yang kompleks, seperti perjalanan di dalam atom, eksplorasi medan gravitasi di sekitar lubang hitam, atau pengamatan reaksi nuklir pada skala mikroskopis, yang mustahil dilakukan di dunia nyata (Kapp & Zender, 2021). Mahasiswa dapat berinteraksi dengan objek dan fenomena dalam lingkungan virtual seolah-olah mereka berada di dalamnya, memberikan pengalaman belajar yang mendalam dan multi-sensorik.

Di sisi lain, Augmented Reality adalah teknologi yang melapisi objek digital dan informasi ke dalam pandangan dunia nyata pengguna secara *real-time*. Berbeda dengan VR yang menciptakan lingkungan baru, AR memperkaya realitas yang sudah ada (Wu et al., 2013). Dalam konteks fisika, AR dapat digunakan untuk memproyeksikan model 3D partikel subatomik ke meja belajar mahasiswa, menampilkan medan listrik di sekitar muatan yang diletakkan di kelas, atau mengilustrasikan vektor gaya pada objek yang diamati secara langsung (Sirakaya & Alsancak Sirakaya, 2018). Interaksi ini terjadi dalam ruang fisik mahasiswa, seringkali melalui perangkat *smartphone*, *tablet*, atau kacamata AR khusus, memungkinkan mereka untuk melihat konsep abstrak fisika dalam konteks lingkungan sehari-hari.

Karakteristik utama VR dan AR adalah imersifitas dan interaktivitas yang tinggi. Imersifitas mengacu pada sejauh mana teknologi dapat membuat pengguna merasa hadir dalam lingkungan digital atau berinteraksi dengan objek virtual. Interaktivitas memungkinkan pengguna untuk memanipulasi dan memengaruhi lingkungan atau objek virtual, sehingga pengalaman belajar menjadi lebih aktif dan berpusat pada mahasiswa. Kemampuan ini sangat relevan untuk fisika, di mana pemahaman seringkali membutuhkan visualisasi dinamis dan eksperimentasi langsung terhadap fenomena yang tidak dapat diakses secara konvensional.

Pemanfaatan VR dan AR dalam pembelajaran fisika menawarkan potensi transformatif yang besar, memberikan berbagai manfaat pedagogis yang sejalan dengan target Pendidikan Berkualitas (SDG 4).

1. Meningkatkan Pemahaman Konseptual dan Abstraksi: Fisika seringkali melibatkan konsep abstrak seperti gelombang elektromagnetik, relativitas, atau mekanika kuantum yang sulit divisualisasikan. VR dan AR dapat membuat konsep-konsep ini menjadi konkret dan interaktif.

Misalnya, mahasiswa dapat "memasuki" medan magnet dan merasakan arah gayanya dalam VR, atau melihat visualisasi perambatan gelombang suara di sekitar mereka menggunakan AR. Pengalaman imersif ini membantu mahasiswa membangun model mental yang lebih akurat dan memperkuat pemahaman konseptual dibandingkan metode tradisional (Radianti et al., 2020).

2. Menyediakan Akses ke Eksperimen yang Sulit atau Berbahaya: VR dapat mensimulasikan laboratorium fisika yang kompleks, mahal, atau berbahaya tanpa risiko fisik atau batasan biaya. Mahasiswa dapat melakukan percobaan nuklir, mengamati fusi plasma, atau menguji stabilitas struktur di bawah tekanan ekstrem dalam lingkungan virtual yang aman. Ini juga menjembatani kesenjangan aksesibilitas laboratorium bagi institusi dengan sumber daya terbatas, mendukung target 4.A SDG 4 tentang pembangunan dan peningkatan fasilitas pendidikan (Makransky & Petersen, 2021).
3. Meningkatkan Keterlibatan dan Motivasi Belajar: Sifat novel dan imersif dari VR/AR secara inheren menarik bagi mahasiswa, mengubah pembelajaran fisika menjadi pengalaman yang menyenangkan dan memotivasi. Rasa "kehadiran" dalam lingkungan virtual atau kemampuan untuk berinteraksi dengan objek 3D di dunia nyata dapat secara signifikan meningkatkan minat mahasiswa terhadap topik fisika dan mendorong eksplorasi mandiri (Parong & Mayer, 2021). Ini sejalan dengan target 4.7 SDG 4 yang mendorong pembelajaran transformatif.
4. Mengembangkan Keterampilan Ilmiah dan Pemecahan Masalah: Dalam lingkungan VR/AR, mahasiswa dapat berlatih keterampilan ilmiah seperti observasi, pengumpulan data, analisis, dan perumusan hipotesis. Mereka dapat memanipulasi

variabel, menguji teori, dan melihat hasil secara instan, yang mendukung pengembangan pemikiran kritis dan kemampuan pemecahan masalah (Akçayır & Akçayır, 2017). Lingkungan ini juga memungkinkan iterasi eksperimen yang cepat, memfasilitasi proses belajar dari kesalahan.

5. Memfasilitasi Pembelajaran Inklusif dan Personal: VR dan AR dapat disesuaikan untuk berbagai gaya belajar dan kebutuhan khusus mahasiswa. Misalnya, mahasiswa dengan keterbatasan mobilitas dapat mengakses laboratorium virtual yang sama dengan mahasiswa lainnya. Selain itu, pengalaman imersif dapat dirancang untuk mengakomodasi kecepatan belajar individu, memberikan *feedback* adaptif, dan memungkinkan mahasiswa untuk berfokus pada area yang paling menantang bagi mereka (Hwang & Chen, 2023). Ini secara langsung mendukung target 4.5 SDG 4 untuk memastikan akses yang sama ke semua tingkat pendidikan bagi kelompok rentan.

Implementasi VR dan AR dalam pembelajaran fisika dapat bervariasi, mulai dari modul singkat yang berdiri sendiri hingga integrasi kurikulum penuh. Meskipun tantangan seperti biaya perangkat keras, pengembangan konten berkualitas tinggi, dan pelatihan guru masih ada, kemajuan teknologi yang pesat membuat VR dan AR semakin terjangkau dan mudah diakses. Dengan strategi pedagogis yang tepat, teknologi imersif ini memiliki potensi untuk merevolusi cara fisika diajarkan dan dipelajari, mempersiapkan mahasiswa dengan pemahaman yang mendalam dan keterampilan yang relevan untuk menghadapi tantangan global dan berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan.

Untuk penggunaan VR dan AR ini kami telah sampai pada tahap publikasi dan mengikuti Konferensi Internasional serta melakukan pengabdian

masyarakat. Dalam teknologi ini juga sudah dihasilkan buku ber ISBN dan mendapatkan HAKI.

E. Kecerdasan Buatan

Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence/AI) merujuk pada pengembangan sistem komputer yang mampu melakukan tugas-tugas yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia, seperti pembelajaran, pemecahan masalah, pengambilan keputusan, persepsi visual, dan pengenalan bahasa alami (Russell & Norvig, 2021). Dalam konteks pendidikan, AI bukan sekadar alat pelengkap, melainkan agen transformatif yang memiliki potensi untuk merevolusi proses belajar mengajar. Integrasi AI dalam pembelajaran fisika memungkinkan personalisasi yang mendalam, efisiensi operasional, dan kemampuan untuk mengatasi tantangan pedagogis yang kompleks.

Relevansi AI dalam pembelajaran fisika sangat menonjol mengingat sifat mata pelajaran ini yang seringkali dianggap abstrak, menuntut penalaran logis yang kuat, dan membutuhkan pemahaman konsep yang bertahap. AI dapat menganalisis pola belajar mahasiswa, mengidentifikasi kesenjangan pemahaman, dan menyediakan intervensi yang tepat waktu dan relevan. Ini berarti pembelajaran fisika dapat beralih dari pendekatan satu-ukuran-untuk-semua menjadi pengalaman yang sangat disesuaikan dengan kebutuhan individu mahasiswa, mengakselerasi pencapaian Pendidikan Berkualitas (SDG 4) yang inklusif dan merata (UNESCO, 2019).

Pemanfaatan AI dalam pembelajaran fisika membawa sejumlah manfaat pedagogis yang signifikan dan berkontribusi langsung pada pencapaian target-target SDG 4, seperti: 1) Personalisasi Pembelajaran dan Jalur Belajar Adaptif, 2) Umpan Balik Instan dan Analisis Performa yang Mendalam, 3) Aksesibilitas dan Pendidikan Inklusif, 4) Efisiensi dalam Penilaian dan

Administratif, 5) Pengembangan Konten Pembelajaran Dinamis dan Adaptif.

1. Personalisasi Pembelajaran dan Jalur Belajar Adaptif: AI memungkinkan terciptanya sistem tutor cerdas (Intelligent Tutoring Systems/ITS) yang mampu menganalisis kinerja, gaya belajar, dan preferensi mahasiswa secara *real-time*. Berdasarkan analisis ini, AI dapat menyesuaikan materi pembelajaran, tingkat kesulitan soal, urutan topik, dan jenis *feedback* yang diberikan (Chen et al., 2020). Dalam fisika, ITS dapat mendeteksi miskonsepsi mahasiswa tentang topik tertentu (misalnya, hukum Newton atau konsep energi) dan kemudian menyajikan penjelasan alternatif, simulasi, atau latihan tambahan yang ditargetkan untuk mengatasi miskonsepsi tersebut. Ini memastikan setiap mahasiswa menerima dukungan yang mereka butuhkan untuk mencapai penguasaan, sejalan dengan target 4.4 SDG 4 yang berfokus pada relevansi keterampilan.
2. Umpan Balik Instan dan Analisis Performa yang Mendalam: AI dapat memberikan *feedback* instan dan adaptif kepada mahasiswa atas respons mereka. Ini jauh lebih cepat dan konsisten daripada *feedback* dari guru manusia, memungkinkan mahasiswa untuk segera mengoreksi kesalahan dan memperkuat pemahaman. Selain itu, analisis data pembelajaran (Learning Analytics) yang didukung AI dapat memproses volume besar data performa mahasiswa untuk mengidentifikasi tren, memprediksi risiko kegagalan, dan memberikan wawasan berharga bagi guru untuk merancang intervensi yang lebih efektif (Baker & Inventado, 2014). Dalam fisika, AI dapat melacak bagaimana mahasiswa memecahkan masalah fisika langkah demi langkah, mengidentifikasi di mana mereka sering mengalami kesulitan, dan memberikan petunjuk yang terpersonalisasi.

3. **Aksesibilitas dan Pendidikan Inklusif:** AI dapat menjembatani kesenjangan akses pendidikan bagi mahasiswa dengan kebutuhan khusus atau di daerah terpencil. Misalnya, sistem pengenalan suara dan sintesis teks-ke-ucap AI dapat membantu mahasiswa tunanetra mengakses materi fisika, sementara *chatbot* bertenaga AI dapat memberikan dukungan belajar 24/7 di luar jam sekolah (Hwang & Chen, 2023). Kemampuan AI untuk mengotomatisasi beberapa tugas pengajaran juga dapat membebaskan waktu guru untuk fokus pada interaksi personal yang lebih mendalam, mendukung target 4.5 SDG 4 tentang penghapusan disparitas dan pemerataan akses.
4. **Efisiensi dalam Penilaian dan Administratif:** AI dapat mengotomatisasi proses penilaian tugas, kuis, dan ujian, terutama untuk soal pilihan ganda atau esai yang terstruktur, memungkinkan guru untuk mengalihkan fokus mereka dari tugas administratif ke pedagogi. Algoritma AI juga dapat membantu dalam penjadwalan, pengelolaan kelas, dan identifikasi materi ajar yang paling efektif, sehingga meningkatkan efisiensi sistem pendidikan secara keseluruhan (Roll & Wylie, 2016).
5. **Pengembangan Konten Pembelajaran Dinamis dan Adaptif:** AI dapat digunakan untuk menghasilkan atau merekomendasikan konten pembelajaran fisika yang disesuaikan secara dinamis, seperti latihan soal yang bervariasi, simulasi, atau penjelasan konsep dari berbagai perspektif. Ini memastikan bahwa materi yang disajikan relevan dengan kebutuhan dan tingkat pemahaman mahasiswa, memfasilitasi pembelajaran seumur hidup dan adaptif. AI bahkan dapat membantu dalam memutakhirkan kurikulum secara otomatis berdasarkan tren terbaru dalam fisika.

Implementasi AI dalam pembelajaran fisika masih dalam tahap evolusi, namun potensinya untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih personal,

efisien, dan inklusif sangat besar. Meskipun ada tantangan terkait etika, privasi data, dan kebutuhan akan pelatihan, investasi AI dalam pendidikan adalah langkah krusial menuju pencapaian pendidikan berkualitas tinggi yang sesuai dengan visi SDGs 2030. Untuk penggunaan AI ini kami telah sampai pada tahap publikasi dan melakukan pengabdian masyarakat.

F. Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas, maka disimpulkan bahwa penggunaan Teknologi dalam Pembelajaran Fisika adalah sebuah keharusan untuk dapat mewujudkan Pendidikan Berkualitas sebagai diamanatkan dalam SDGs. Saya dan tim telah berkolaborasi untuk melakukan penelitian terkait pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran fisika terutama terkait simulasi dan visualisasi, penggunaan game, penggunaan VR dan AR, serta penggunaan teknologi AI dalam pembelajaran fisika. Hasil penelitian tersebut juga sudah dipublikasikan, dilakukan pengabdian Masyarakat dan telah pula digunakan dalam kegiatan pembelajaran di Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainsworth, S., & Loizou, A. T. (2018). *Learning with multiple representations*. In *Handbook of Learning and Technology* (pp. 111-125). Routledge.
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Technology Research and Development*, 65(5), 1083-1099.
- Baker, R. S. J. D., & Inventado, P. S. (2014). Educational Data Mining and Learning Analytics: Applications and Prospects. In K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (2nd ed., pp. 561-584). Cambridge University Press.
- Chen, X., Xie, H., & Hwang, G. J. (2020). Application of artificial intelligence in education: A systematic review. *Educational Technology & Society*, 23(3), 1-22.
- Chen, Y., Yu, D., & Yang, B. (2021). The effects of different types of visualization tools on students' learning performance and cognitive load in science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(1), 221-235.
- Cheng, H. T., & Tsai, C. C. (2021). A review of research on virtual reality in science education: Trends, issues, and future directions. *Interactive Learning Environments*, 29(4), 585-602.
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., Macarthur, E., Hainey, T., & Purushothaman, J. (2012). A systematic literature review of the empirical evidence on the impacts of serious games in education. *Computers & Education*, 59(2), 661-683.
- Dabbagh, N., & Kitsantas, A. (2012). *Methods in Educational Research: From Theory to Practice*. Guilford Press.
- Eseryel, D., Law, V., Ifenthaler, D., & Ge, X. (2014). Learning, problem solving, and transfer in game-based learning environments. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 379-389). Springer.
- Fotaris, P., & Mastoras, T. (2019). Gamification and digital game-based learning in higher education: A systematic

- review of the literature. *Education and Information Technologies*, 24(1), 1-32.
- Gee, J. P. (2007). *What video games have to teach us about learning and literacy*. Palgrave Macmillan.
- Hamari, J., Shernoff, D. J., Rowe, M., Asbell-Clarke, J., & Edwards, T. (2016). An empirical study of the effect of digital game-based learning on student engagement and academic performance. *Computers in Human Behavior*, 60, 469-481.
- Hwang, G. J., & Chen, C. H. (2023). A review of research on artificial intelligence in education: Emerging trends and future directions. *Interactive Learning Environments*, 31(1), 1-22.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., & Hall, C. (2020). *NMC/CoSN Horizon Report: 2020 K-12 Edition*. EDUCAUSE.
- Kapp, F., & Zender, R. (2021). *Immersive Learning: Augmented and Virtual Reality in Education*. Springer.
- Ke, F., & Clark, L. (2021). *Game-based learning in education*. In S. A. Spector, J. M. Merrill, M. D. & C. S. D. (Eds.), *Handbook of Research on Learning and Instruction in the Digital Age* (pp. 57-70). Springer.
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The effect of social virtual reality on students' learning and motivation in a science lab. *Computers & Education*, 172, 104271.
- Molnar, A., Rata, G., & Dobre, E. (2020). Personalized Learning Environments: Challenges and Perspectives for Technology-Enhanced Learning. *Procedia Computer Science*, 176, 2195-2200.
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2021). Principles for designing effective augmented reality instruction. *Educational Technology Research and Development*, 69(1), 147-164.
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2021). Principles for designing effective augmented reality instruction. *Educational Technology Research and Development*, 69(1), 147-164.
- Peralta, J., Mestre, J. P., & Zollman, D. A. (2023). The role of interactive simulations in improving students' conceptual understanding and problem-solving skills in introductory physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(2), 229-252.
- Perkins, K. K., Moore, E. B., Labrake, S. K., & Wieman, C. E. (2012). Interactive simulations for teaching and learning physics. *Physics Today*, 65(9), 30-36.

- Plass, J. L., O'Keefe, P. A., & Homer, B. D. (2015). Future directions for educational game design. *Education Psychologist*, 50(2), 151-161.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and future directions. *Computers & Education*, 147, 103778.
- Rahmawati, R., Huda, M., & Rahman, N. (2021). Tantangan Pembelajaran Fisika pada Era Digital dan Potensi Pemanfaatan E-Learning. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*, 10(1), 32-41.
- Ribeiro, A. M., Miranda, L., & Henriques, C. (2020). The use of interactive simulations in physics education: A systematic review. *European Journal of Physics*, 41(4), 045701.
- Roll, I., & Wylie, R. (2016). Goldilocks and the two e-learning environments: The instructional design dilemma of providing sufficient guidance for effective learning. *Journal of Learning Analytics*, 3(1), 1-27.
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-150.
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown Business.
- Sirakaya, M., & Alsancak Sirakaya, D. (2018). Augmented reality in education: A systematic review. *Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 6(2), 26-42.
- Sitzmann, T. (2011). A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. *Personnel Psychology*, 64(2), 489-528.
- UNESCO. (2019). *Artificial intelligence in education: Compendium of promising initiatives*. UNESCO. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370844>
- UNESCO. (2020). *COVID-19 and education: Four priorities for rapid response to protect learners during the global crisis*. Retrieved from

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373977>

- United Nations. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Retrieved from <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Wieman, C. E. (2017). *Improving how universities teach science: Lessons from the science of learning*. Harvard University Press.
- Wu, H. K., Lee, S. W., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49.



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, syukur kami panjatkan kepada Allah Subhanallahu Taala atas Pencapaian Guru Besar.

Untuk anugrah Pencapaian gelar Guru Besar ini, saya berterima kasih dan mempersembahkan capaian ini kepada Keluarga Tercinta:

1) Hafninurneli, istri yang dengan sabar mendampingi dari titik nol perjalanan karir ini. 2) Keempat jagoan Khairul Alfahani, Khairun Hafizhan, Khairul Afhami dan Khairul Fikri, 3) Menantu saya Yonia Faldina dan cucu tersayang Nadine. 4) untuk Almarhum dan almarhumah Abak, Uni dan Amak serta Ayah dan ibu mertua, 5) Bapak dan Ibu guru serta dosen yang telah memberikan ilmunya. Semoga capaian ini dapat berarti bagi agama, serta nusa bangsa.

Secara khusus Kami ucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

Menteri Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi, Rektor Universitas Mulawarman, Ketua Senat dan seluruh anggota senat Universitas, Tim penilai Guru Besar, Para Guru Besar, Dekan dan Wakil Dekan FKIP, Ketua Senat FKIP dan seluruh anggotanya, Ketua LP2M dan LP3M beserta jajarannya, Teman-teman tendik di Rektorat dan di FKIP, keluarga besar sivitas akademik Universitas Mulawarman, terkhusus rekan-rekan dosen dan mahasiswa Pendidikan fisika.

CURRICULUM VITAE

Nama : Zeni Haryanto
NIP : 196812101994031002
NIDN : 0010126810
Tempat, Tanggal
Lahir : Pariaman, 10 Desember 1968
Agama : Islam
Email : zeni.haryanto@fkip.unmul.ac.id
zeni1968@gmail.com
No HP : 081350369621
Program Studi : Pendidikan Fisika
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Pangkat, Gol. : Pembina Tk. I, IVb
Jabfung, TMT : Guru Besar, 1 Juni 2025
ID SINTA : 5980231
ID SCOPUS : 57202300628

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) Pendidikan Fisika, IKIP Padang (sekarang UNP), lulus 1993.
2. Magister (S2) Pendidikan IPA, IKIP Bandung (Sekarang UPI), lulus 1999.
3. Doktor (S3) Pendidikan IPA, Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) Bandung, lulus 2006.

RIWAYAT PENELITIAN

1. **Haryanto, Z.**, Efwinda, S., Sholeh, M., Anggraeni B, Pasaribu, D.R. (2025). Readiness of Indonesian physics teachers to implement augmented reality-based learning. *IJERE*, 14 (2), 1398-1407. <https://doi.org/10.11591/ijere.v14i2.28769>
2. Debora, M. C., **Haryanto, Z.**, & Qadar, R. (2025). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Edpuzzle pada Materi Elastisitas dan Hukum Hooke sesuai Kurikulum Merdeka. *Jurnal Literasi*

- Pendidikan Fisika (JLPF)*, 6(1), 34–41.
<https://doi.org/10.30872/jlpf.v6i1.4464>
3. **Haryanto, Z.**, Efwinda, S., Nurhayati, N., Sholeh, M., & Norsaputra, A. (2024). Augmented Reality-Based Learning: Needs Analysis On Electricity Topics From The Perspective Of High School Students. *Edusains*, 16(2), 192-203.
 4. Fadhillah, K. H., **Haryanto, Z.**, & Komariyah, L. (2024). Development of Augmented Reality-Based High School Physics Learning Media on Static Electricity Material. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 10(2), 367–276.
<https://doi.org/10.29303/jpft.v10i2.7553>
 5. **Haryanto, Z.**, Efwinda, S., & Sulaeman, N. F. (2024). Factors of Shaping PCK Self-efficacy for Pre-service Physics Teachers Throughout Microteaching Course. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 14(4), 351–358.
<https://doi.org/10.47750/pegegog.14.04.32>
 6. **Haryanto, Z.**, Nurhayati, Fadhillah, K. H., Efwinda, S., & Sulaeman, N. F. (2024, April). PCK self-efficacy of early and final level students (pre-service teachers): Is there a difference?. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3052, No. 1, p. 020009). AIP Publishing LLC.
 7. RS Rindantiya, **Z Haryanto**, Setyasih I. (2024). Augmented Horizons: Development and Impact of Augmented Reality on Atmospheric Education. *Future Space: Studies in Geo-Education*, 1(2), 223-235.
 8. Sholeh, M., **Haryanto, Z.**, & Zulkarnaen, Z. (2024). Development of augmented reality-based physics learning media on magnetic field. *Momentum: Physics Education Journal*, 8(1), 120-132.
 9. Wardani, R. B., Sulaeman, N. F., & **Haryanto, Z.** (2024). Engaging every learner: Differentiated educational materials for renewable energy. *Research and Development in Education*

- (*RaDEn*), 4(2), 1083–1097.
<https://doi.org/10.22219/raden.v4i2.33868>
10. Efwinda, S., **Haryanto, Z.**, & Sulaeman, N. F. (2024). Fostering Self-efficacy for Future Physics Teachers: Recommendation of Future Direction of Teacher Education Institutions. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 14(2).
 11. Efwinda, S., **Haryanto, Z.**, Sulaeman, N. F., & Nuryadin, A. (2023). Self-Efficacy of PCK: An Exploration of Indonesian Prospective Physics Teacher Perspectives. *Jurnal Pendidikan Indonesia Gemilang*, 3(2), 230-241.
 12. **Haryanto, Z.**, Efwinda, S., & Sulaeman, N. F. (2023). Changes in the Pedagogical Content Knowledge (PCK) Self-Efficacy of Pre-Service Physics Teachers: Redefining the Role of Influencing Factors. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(1), 109–116. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i1.2268>

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. Damayanti, P., **Haryanto, Z.**, Falentino, C., & Farida, S. D. W. P. (2025). Pemanfaatan AI Dalam Pembuatan Modul Ajar Untuk Mendukung Implementasi Kurikulum Merdeka. *Archive: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 356–369. <https://doi.org/10.55506/arch.v4i2.173>
2. Darusman, D., Zahra, A. P., Muttaqin, M., Efwinda, S., & **Haryanto, Z.** (2024). Education for prospective teachers on augmented reality (AR) learning media in science subjects. *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(2), 261-270.
3. Anggraeni, B., Efwinda, S., **Haryanto, Z.**, Sholeh, M., & Armelia, A. (2023). Sosialisasi Pembelajaran Berbasis Augmented Reality (AR) bagi Guru Ilmu Pengetahuan Alam. *GERVASI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(3), 1066–1078.
4. Nuryadin, A., Sulaeman, N. F., Komariyah, L., **Haryanto, Z.**, Setiyawan, R., Zulhiyah, F., ... &

Junus, M. (2022). Pelatihan Implementasi Inovasi Sains dan Teknologi melalui Artikel Ilmiah bagi Siswa SMA. *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(4), 1452-1458.

RIWAYAT JABATAN

1. 2016-2019, 2023–sekarang: Ketua Prodi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman
2. 2019-2023: Kepala Laboratorium Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman
3. 2014-2015: Tim Pengembangan Universitas Mulawarman
4. 2017-2022: PIC Soft Program PIU IsDB Universitas Mulawarman
5. 2015-2019: Anggota Senat Universitas Mulawarman
6. 2011-2015: Anggota Senat Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman
7. 2011-2016: Ketua Prodi Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman
8. 2013-2015: Sekretaris UPT PPG, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman

RIWAYAT ORGANISASI

1. Ketua Bidang Pendidikan dan Pelatihan Perkumpulan Pendidik IPA Indonesia (PPII) wilayah Kalimantan Timur, Periode 2024-2028.
2. Anggota Asosiasi Lesson Study Indonesia (ALSI)
3. Anggota Ikatan Sarjana Pendidikan Indonesia (ISPI)
4. Anggota Jean Piaget Society (JPS)



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Hetty Manurung, S.Si., M.Si.

TABAT BARITO (*FICUS DELTOIDEA* JACK) DARI
KALIMANTAN SEBAGAI SUMBER BAHAN OBAT
ALAMI: INTEGRASI BUDIDAYA, EKSPLORASI
METABOLIT SEKUNDER, DAN POTENSI
FITOFARMAKA NUSANTARA

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Hetty Manurung, S.Si., M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Pendahuluan	5
1.1. Permasalahan dan Tantangan	5
1.2. Tujuan dan Kontribusi Orasi Ilmiah	6
B. Tabat Barito: Identitas Botani Dan Kearifan Lokal.....	7
2.1. Sebaran dan Habitat Asli.....	8
2.2. Pemanfaatan Tradisional dan Nilai Budaya.....	8
2.3. Studi Etnobotani dan Ilmu Pengetahuan Modern.....	10
2.4. Potensi Sosial Ekonomi dan Konservasi Berbasis Komunitas	11
C. Budidaya Tabat Barito: Upaya Konservasi Dan Produksi.....	13
3.1. Strategi Pengembangan Budidaya Adaptif dan Berkelanjutan	14
3.2. Pemilihan Lokasi dan Sumber Benih ...	15
3.3. Sistem Monitoring dan Sertifikasi Mutu Budidaya	16
3.4. Budidaya sebagai Sarana Konservasi Genetik.....	16
D. Eksplorasi Metabolit Sekunder Dan Aktivitas Biofarmakologi.....	17
4.1. Profil Metabolit Sekunder: Identifikasi dan Kuantifikasi	17
4.2. Aktivitas Antioksidan, Antimutagenik, dan Sitoprotektif	20
4.3. Aktivitas Antidiabetik In Vivo dan Mekanisme Farmakologis	20

4.4.	Penghambatan Pembentukan AGE dan Regulasi Patologi Diabetes	21
4.5.	Aktivitas Antimikroba dan Keamanan Toksikologi	22
4.6.	Validasi Ilmiah Partisipatif dan Integrasi Pengetahuan.....	23
4.7.	Tantangan, Peluang, dan Arah Riset Lanjutan.....	24
E.	Implikasi Ilmiah, Pengembangan Fitofarmaka, Dan Peran Akademisi.....	25
5.1.	Integrasi Ilmu Dasar, Terapan, dan Lokalitas.....	25
5.2.	Kontribusi terhadap Kemandirian Bahan Baku Obat.....	26
5.3.	Peta Jalan Pengembangan Produk Fitofarmaka	26
5.4.	Pendidikan, Inovasi, dan Hilirisasi Riset	27
5.5.	Diplomasi Hayati dan Pemberdayaan Lokal	28
5.6.	Peran Akademisi dan Kepemimpinan Ilmiah.....	29
F.	Penutup	29
	DAFTAR PUSTAKA.....	31
	UCAPAN TERIMA KASIH	36
	CURRICULUM VITAE.....	38

SINOPSIS

Indonesia, sebagai salah satu negara megabiodiversitas di dunia, menyimpan potensi luar biasa dalam flora endemiknya yang belum seluruhnya terungkap dan dimanfaatkan secara optimal. Salah satu tumbuhan yang kini mendapat perhatian adalah Tabat Barito (*Ficus deltoidea* Jack), tanaman semak khas Kalimantan yang secara turun-temurun digunakan oleh masyarakat Dayak dan Banjar untuk pemulihan pascamelahirkan, penguat vitalitas, hingga terapi gangguan metabolik. Namun, di tengah dominasi obat-obatan sintetis dan tuntutan akan keamanan serta efektivitas berbasis bukti ilmiah, Tabat Barito memerlukan pendekatan terintegrasi agar dapat naik kelas menjadi fitofarmaka Nusantara yang diakui secara nasional maupun global.

Orasi ilmiah ini menegaskan pentingnya pendekatan transdisipliner dalam membangun jembatan antara pengetahuan tradisional, riset sains modern, dan kebutuhan pembangunan berkelanjutan. Dari sisi identitas botani, Tabat Barito bukan hanya sekadar tumbuhan lokal, melainkan juga simbol kearifan budaya masyarakat Kalimantan yang melihat tumbuhan sebagai sahabat spiritual dan penjaga keseimbangan alam. Namun, warisan ini terancam punah jika tidak didokumentasikan dan divalidasi dengan metode ilmiah. Oleh sebab itu, studi dan riset partisipatif berbasis komunitas menjadi langkah awal yang krusial.

Dalam dimensi Fisiologi Tumbuhan, eksplorasi biofarmakologis, beberapa penelitian telah kami lakukan dimana Tabat Barito menunjukkan profil kandungan metabolit sekunder yang impresif, mulai dari flavonoid vitexin, isovitexin, orientin, hingga berbagai senyawa terpenoid. Berbagai uji laboratorium

mutakhir telah menegaskan aktivitas antioksidan, antidiabetik, antimutagenik, hingga sitoprotektif, dengan potensi mekanisme kerja melalui jalur PPAR γ —yang sangat relevan dalam penanganan diabetes tipe 2. Aktivitas penghambatan pembentukan Advanced Glycation End-products (AGEs) juga mengindikasikan kemampuan tanaman ini dalam menangkal komplikasi degeneratif akibat hiperglikemia kronis. Lebih jauh, aktivitas antimikroba pada *Staphylococcus aureus* dan *Candida albicans* memperkaya peluang aplikasi Tabat Barito, mulai dari sediaan obat herbal, suplemen kesehatan, hingga formulasi kosmetik dermatologis. Selain itu, penelitian kami juga membuktikan kemampuan ekstrak tabat barito dapat mempercepat penyembuhan luka melalui peningkatan hidrosiprolin dan sintesis DNA.

Aspek budidaya menjadi fondasi penting untuk menjamin pasokan bahan baku yang konsisten dan lestari. Perlunya pengembangan model agroforestri adaptif, konservasi in-situ maupun eks-situ, serta inovasi teknik perbanyakan vegetatif, baik pada habitat teresterial maupun epifit habitat alami. Pada Penelitian kami telah menemukan model dan teknik budidaya secara teresterial dan menghasilkan kualitas metabolit sekunder yang setara, bahkan lebih baik dibandingkan dengan tabat barito pada habitat aslinya. Budidaya bukan hanya sekadar proses produksi, melainkan juga sarana konservasi genetik dan pemulihan lahan marginal, sehingga nilai ekologis dan ekonomis dapat berjalan beriringan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip fair and equitable benefit sharing, menjamin keterlibatan dan kesejahteraan komunitas lokal.

Sebagai negara yang hingga kini masih bergantung pada impor bahan baku obat, Indonesia harus berani meneguhkan kemandiriannya. Tabat Barito memberi peluang konkret untuk mendirikan rantai nilai bahan baku fitofarmaka dari hulu ke hilir—dari budidaya,

pengolahan pascapanen, standarisasi ekstrak, hingga pendaftaran produk di Badan POM dan penetrasi pasar global. Namun demikian, tantangan validasi ilmiah—termasuk uji praklinis dan klinis, standarisasi senyawa bioaktif, hingga pengembangan formulasi sediaan farmasi—masih menjadi pekerjaan rumah yang memerlukan kolaborasi lintas sektor: akademisi, industri, pemerintah, dan komunitas adat.

Lebih jauh, orasi ini menekankan pentingnya kepemimpinan ilmiah perguruan tinggi dalam merumuskan roadmap riset yang berorientasi pada hilirisasi. Kampus bukan hanya sebagai pusat keilmuan, tetapi juga motor penggerak inovasi lokal dan diplomasi hayati. Melalui kerangka triple helix—akademisi, industri, dan pemerintah—ekosistem riset Tabat Barito dapat berkembang menjadi pusat unggulan biofarmaka Nusantara yang berbasis biodiversitas dan kearifan lokal. Keterlibatan generasi muda dalam penelitian berbasis lapangan, konservasi komunitas, hingga pengembangan usaha mikro dan ekowisata akan meneguhkan peran sains sebagai agen transformasi sosial dan ekonomi.

Dalam skala global, Tabat Barito adalah simbol soft power Indonesia: bahwa negeri ini mampu menawarkan solusi kesehatan yang aman, alami, dan berkelanjutan di tengah krisis resistensi antibiotik, degradasi lingkungan, dan ketergantungan pada obat sintetik. Dengan demikian, orasi ini bukan hanya seruan untuk mengeksplorasi potensi tanaman obat, tetapi juga panggilan moral untuk membangun peradaban sains yang berpihak pada kelestarian hayati, kesejahteraan masyarakat adat, dan kemandirian bangsa. Inilah esensi tridarma perguruan tinggi yang sepatutnya menjadi nafas Guru Besar: menjadi jangkar etika, jembatan pengetahuan, dan kompas moral bagi generasi mendatang.

Semoga melalui orasi ini, Tabat Barito tidak lagi hanya menjadi saksi bisu di hutan-hutan Kalimantan, tetapi bertransformasi menjadi warisan hayati berdaya saing global—menyatukan pengetahuan, konservasi, dan inovasi dalam harmoni yang lestari. Maka, tugas kita semua adalah memastikan bahwa sains tidak berjalan sendiri, tetapi berpijak pada akar tradisi dan bergerak ke depan untuk masa depan kesehatan Indonesia yang berdaulat, sehat, dan berkelanjutan.



A. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu dari sedikit negara megabiodiversitas di dunia yang memiliki kekayaan flora dan fauna luar biasa. Sekitar 30.000 spesies tumbuhan tumbuh di wilayah Nusantara, dan lebih dari 1.000 di antaranya diduga memiliki potensi sebagai tanaman obat (Manurung, 2021). Salah satu tumbuhan endemik yang menarik perhatian dalam beberapa tahun terakhir adalah *Ficus deltoidea* Jack, atau dikenal secara lokal dengan sebutan **Tabat Barito**. Tumbuhan ini secara tradisional digunakan oleh masyarakat Kalimantan, khususnya oleh komunitas Dayak dan Banjar, sebagai obat pascamelahirkan, penguat vitalitas, dan terapi alami untuk berbagai keluhan reproduktif (Manurung et al., 2017; Manurung, 2021).

Di tengah meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap obat berbahan alam dan fitofarmaka, pengembangan tanaman obat lokal seperti Tabat Barito menjadi relevan. Namun demikian, potensi luar biasa tersebut belum sepenuhnya dikaji dan dimanfaatkan secara ilmiah dan komersial. Masih terdapat kesenjangan antara pengetahuan tradisional dengan pendekatan ilmiah modern, khususnya dalam aspek budidaya, isolasi senyawa aktif, dan pengembangan produk berbasis sains.

1.1. Permasalahan dan Tantangan

Meski telah dikenal luas dalam pengobatan tradisional, Tabat Barito menghadapi beberapa tantangan dalam pengembangannya sebagai sumber bahan obat alami. Pertama, ketiadaan sistem budidaya yang terstandar menyebabkan pasokan bahan baku sangat bergantung pada hasil eksploitasi alam, yang secara ekologis tidak berkelanjutan (Sutrisno et al., 2021). Kedua, meskipun beberapa studi awal telah mengidentifikasi senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, saponin, dan

tanin, kajian mendalam terkait bioaktivitas dan mekanisme kerjanya masih sangat terbatas.

Selain itu, pengembangan fitofarmaka dari Tabat Barito belum masuk dalam skema prioritas nasional, terutama dalam hal pembiayaan riset, pengembangan hilirisasi, serta regulasi keamanan dan efektivitas. Tantangan lain adalah terbatasnya kolaborasi lintas sektor antara akademisi, industri, pemerintah, dan masyarakat adat dalam pengembangan produk berbasis kearifan lokal. Jika tidak ditangani secara strategis, potensi Tabat Barito akan terus terpinggirkan dalam arus globalisasi dan dominasi bahan sintetis.

1.2. Tujuan dan Kontribusi Orasi Ilmiah

Orasi ilmiah ini disusun untuk memberikan kontribusi akademik dalam merumuskan pendekatan holistik pengembangan Tabat Barito sebagai sumber bahan obat alami. Secara khusus, orasi ini bertujuan untuk (1) menguraikan potensi botani dan etnofarmakologi Tabat Barito sebagai tanaman asli Kalimantan, (2) mengkaji strategi budidaya yang adaptif dan berkelanjutan, (3) menelaah kandungan metabolit sekunder dan aktivitas bioaktifnya, serta (4) menyusun arah strategis hilirisasi menuju produk fitofarmaka Nusantara.

Pendekatan interdisipliner yang digunakan dalam kajian ini mencakup ilmu biologi tumbuhan, agronomi, kimia bahan alam, serta kebijakan pengembangan industri fitofarmaka. Dengan demikian, diharapkan hasil kajian ini dapat memperkuat peran perguruan tinggi dalam menghasilkan riset transformatif yang berdampak pada ketahanan kesehatan nasional berbasis biodiversitas lokal (Hidayat & Pramudito, 2023).

Penelitian dan pengembangan Tabat Barito tidak hanya memiliki nilai ilmiah dalam konteks eksplorasi sumber daya hayati, tetapi juga menyentuh dimensi strategis dalam pembangunan kesehatan dan ekonomi nasional. Di tengah tantangan global seperti resistensi

antibiotik, krisis lingkungan, dan ketergantungan pada bahan baku impor, Indonesia perlu menggali potensi alamnya sebagai solusi jangka panjang. Tabat Barito, sebagai bagian dari warisan hayati Kalimantan, merepresentasikan hubungan erat antara alam, budaya, dan ilmu pengetahuan.

Pengembangan fitofarmaka dari tanaman ini sejalan dengan agenda Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2020–2045, yang menekankan pentingnya riset berbasis biodiversitas lokal dalam membangun kemandirian industri kesehatan (BRIN, 2020). Lebih dari itu, integrasi antara konservasi, budidaya, dan bioprospeksi dapat menjadi model pembangunan berkelanjutan berbasis sumber daya hayati Indonesia.

B. Tabat Barito: Identitas Botani Dan Kearifan Lokal

Tabat Barito, atau *Ficus deltoidea* Jack, merupakan salah satu spesies dari keluarga Moraceae yang tersebar di wilayah Asia Tenggara, termasuk Indonesia, Malaysia, dan Brunei. Di Indonesia, tumbuhan ini banyak ditemukan di Kalimantan, terutama di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Secara taksonomis, *Ficus deltoidea* diklasifikasikan sebagai berikut: Kingdom Plantae, Divisi Magnoliophyta, Kelas Magnoliopsida, Ordo Rosales, Famili Moraceae, Genus *Ficus*, Spesies *Ficus deltoidea* Jack (Manurung, 2021; Aziz et al., 2017).

Morfologi tumbuhan ini cukup khas, dengan daun berbentuk deltoid (segitiga) atau obovate, bertekstur tebal dan memiliki permukaan daun yang mengkilap. Buahnya berukuran kecil dengan warna kuning hingga merah jingga ketika matang. Tabat Barito merupakan tumbuhan semak atau perdu yang mampu tumbuh hingga tinggi 2–3 meter. Ciri khas lain adalah adanya getah putih pada batang dan daun, yang diduga mengandung senyawa lateks bioaktif (Manurung, 2021; Fatimah et al., 2014).



Gambar 1. Tumbuhan dan Daun Tabat Barito

2.1. Sebaran dan Habitat Asli

Tabat Barito tumbuh alami di kawasan hutan sekunder Kalimantan, terutama di daerah dengan ketinggian 100–500 meter di atas permukaan laut. Tumbuhan ini menyukai tanah berpasir atau gambut dengan drainase baik dan pencahayaan yang cukup. Keberadaan Tabat Barito secara alami biasanya ditemukan di bawah naungan pohon besar, atau pada tepi hutan yang terkena sinar matahari tidak langsung (Manurung et al., 2019; Irawati & Suryani, 2019).

Sebaran geografis tanaman ini memperlihatkan keterikatan ekologis dengan struktur vegetasi tropis khas Kalimantan. Selain itu, adaptasi Tabat Barito terhadap kondisi lahan marginal seperti tanah asam memberikan peluang dalam pengembangan budidaya pada lahan yang kurang produktif secara pertanian konvensional. Hal ini memperkuat argumen bahwa tanaman ini memiliki potensi besar dalam pengembangan berbasis konservasi dan ekonomi (Lestari et al., 2020).

2.2. Pemanfaatan Tradisional dan Nilai Budaya

Secara etnobotani, Tabat Barito telah digunakan secara turun-temurun oleh masyarakat Dayak dan Banjar sebagai bagian dari pengobatan tradisional. Rebusan daun dan batangnya biasa digunakan untuk membantu pemulihan pascamelahirkan, memperkuat rahim, meningkatkan energi, serta sebagai tonik wanita. Dalam praktik adat, tanaman ini sering menjadi bagian dari ritual penyembuhan yang

melibatkan pemuka adat atau dukun kampung (Hamidah & Munandar, 2018).

Nilai budaya Tabat Barito tidak hanya terletak pada khasiat farmakologisnya, tetapi juga pada perannya dalam membentuk sistem pengetahuan lokal yang holistik. Pengetahuan mengenai pengumpulan, pengolahan, dan penggunaan tanaman ini diwariskan secara lisan dan menjadi bagian dari identitas budaya komunitas lokal. Sayangnya, modernisasi dan urbanisasi telah mengikis praktik tradisional ini, sehingga diperlukan upaya dokumentasi dan revitalisasi secara ilmiah.

Lebih jauh lagi, Tabat Barito juga dianggap memiliki nilai spiritual oleh sebagian komunitas adat. Tanaman ini kerap dijadikan persembahan dalam ritual penyucian dan perlindungan terhadap penyakit yang diyakini berasal dari gangguan makhluk halus. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan ini tidak hanya bernilai fungsional sebagai obat, tetapi juga simbolik dalam struktur kepercayaan masyarakat setempat. Oleh karena itu, pelestarian Tabat Barito juga merupakan bagian dari pelestarian warisan budaya takbenda yang memiliki nilai penting dalam menjaga identitas etnobotani lokal.

Pengetahuan tradisional yang melekat pada Tabat Barito bukan hanya berfungsi sebagai obat herbal, tetapi juga menyatu dengan praktik spiritual masyarakat. Misalnya, dalam beberapa komunitas Dayak, rebusan daun dan batang digunakan dalam ritual penyembuhan yang dipimpin dukun adat, yang melihat tanaman ini berperan menjaga keseimbangan antara tubuh dan alam semesta (Hamidah & Munandar, 2018; Sardjono et al., 2022). Makna simbolik ini diperkuat oleh kajian kultural terkini yang mencatat bahwa penggunaan Tabat Barito dalam acara ritual melahirkan, penyucian, dan perlindungan bukan sekadar obat, tetapi juga sarana pewarisan nilai kebersamaan dan koneksi spiritual antar-generasi (Rahmawati et al., 2020).

Penelitian fitokimia modern telah semakin mengonfirmasi keberadaan dan aktivitas senyawa bioaktif dalam Tabat Barito. Sebuah studi menggunakan UPLC-QTOF-MS/MS berhasil mengidentifikasi hingga 70 metabolit, termasuk flavonoid dan asam fenolat, yang berkorelasi kuat dengan aktivitas antioksidan ekstrak Tabat Barito (Manurung, 2022; Nurmaida et al., 2016; Nurmaida et al., 2018). Selain itu, riset *in silico* pada tahun 2024 menunjukkan bahwa senyawa seperti vitexin, isovitexin, dan lupeol memiliki afinitas tinggi terhadap PPAR- γ , mendukung potensi antidiabetik Tabat Barito (Wahyurini et al., 2024). Riset farmakologi *in vivo* juga telah membuktikan bahwa vitexin dan isovitexin mampu menurunkan glukosa darah serta menghambat enzim α -glucosidase tanpa efek toksik pada hewan coba. Lebih jauh lagi ekstrak metanol daun Tabat Barito mampu mempercepat penyembuhan luka, dengan mekanisme peningkatan hidroksiprolin dan sintesis DNA (Choo et al., 2012; Abdulai et al., 2021; Aryani et al., 2020).

Penelitian terbaru relevan juga meliputi aplikasi kosmetik—dengan ekstrak metanol menghasilkan peningkatan hidrasi kulit dan regenerasi pelindung kulit berupa transglutaminase-1, sebagai efek dari kombinasi vitexin dan isovitexin. Hal ini membuktikan bahwa Tabat Barito dapat memberi manfaat luas, bukan hanya untuk terapi metabolik tapi juga dermatologi.

2.3. Studi Etnobotani dan Ilmu Pengetahuan Modern

Kajian etnobotani terhadap Tabat Barito menjadi pintu masuk penting dalam memahami hubungan antara masyarakat lokal dan sumber daya hayati. Studi yang dilakukan oleh Rahmawati et al. (2020) menunjukkan bahwa terdapat lebih dari 15 cara pengolahan tradisional yang berbeda berdasarkan bagian tanaman dan tujuan pengobatannya. Data ini menunjukkan

keragaman penggunaan dan kekayaan pengetahuan lokal yang perlu diintegrasikan dengan pendekatan ilmiah modern.

Di sisi lain, penelitian ilmiah mulai mengungkap kandungan metabolit sekunder dalam bagian tanaman Tabat Barito, yang dapat dikorelasikan dengan klaim manfaat tradisionalnya. Pendekatan transdisipliner yang menggabungkan etnobotani, farmakognosi, dan analisis fitokimia menjadi sangat penting dalam validasi ilmiah tanaman obat. Beberapa penelitian terkini telah berhasil mengidentifikasi senyawa aktif seperti vitexin, isovitexin, dan orientin dari ekstrak daun Tabat Barito yang menunjukkan aktivitas antioksidan dan antidiabetik yang menjanjikan (Manurung et al., 2017).

Penelitian lanjutan dengan uji farmakologis in vitro dan in vivo diperlukan untuk mengkonfirmasi efek terapeutik dan keamanan penggunaan jangka panjang. Dengan demikian, pengembangan berbasis ilmu pengetahuan modern dapat memperkuat narasi tradisional yang telah lama hidup dalam masyarakat. Selain itu, keterlibatan masyarakat dalam riset partisipatif dapat menjadi pendekatan strategis untuk menghubungkan pengetahuan lokal dengan kerangka ilmiah. Kolaborasi antara peneliti, tokoh adat, dan praktisi pengobatan tradisional membuka peluang transfer pengetahuan dua arah yang lebih adil dan inklusif. Melalui dokumentasi sistematis dan penguatan kapasitas masyarakat lokal, studi etnobotani dapat menjadi jembatan antara warisan budaya dan inovasi ilmiah untuk pengembangan fitofarmaka berkelanjutan.

2.4. Potensi Sosial Ekonomi dan Konservasi Berbasis Komunitas

Pengembangan Tabat Barito tidak hanya harus dipandang dari sisi ilmiah, tetapi juga sebagai peluang ekonomi berbasis sumber daya lokal. Program budidaya dan pengolahan produk turunan tanaman ini

dapat meningkatkan pendapatan masyarakat pedesaan. Model pertanian konservasi yang berbasis komunitas, seperti agroforestri, telah terbukti efektif dalam mempertahankan keanekaragaman hayati sekaligus memberikan manfaat ekonomi (Widodo et al., 2021).

Konservasi in-situ dan eks-situ harus dijalankan secara beriringan. Konservasi in-situ melalui perlindungan habitat asli penting untuk menjaga keragaman genetik, sedangkan konservasi eks-situ melalui budidaya dapat memastikan ketersediaan bahan baku berkelanjutan. Dengan pendekatan ini, pengembangan Tabat Barito dapat menciptakan sinergi antara pelestarian alam dan pembangunan berkelanjutan.

Selain itu, pemanfaatan Tabat Barito dalam skala ekonomi lokal dapat dikembangkan melalui unit usaha kecil dan menengah (UKM) berbasis desa, seperti produksi teh herbal, kapsul ekstrak, atau minyak esensial. Produk-produk ini tidak hanya berorientasi pada pasar domestik, tetapi juga memiliki peluang ekspor seiring dengan meningkatnya permintaan global terhadap produk alami yang aman dan berkelanjutan (Putri et al., 2023).

Keterlibatan masyarakat lokal, khususnya perempuan dan kelompok adat, menjadi kunci dalam keberlanjutan pengelolaan sumber daya ini. Dengan memberikan pelatihan dan pendampingan teknologi pascapanen, masyarakat dapat diberdayakan untuk menjadi aktor utama dalam rantai nilai tanaman obat. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip bioprospeksi yang adil (*fair and equitable benefit sharing*) sebagaimana diatur dalam Protokol Nagoya CBD tahun 2010.

Lebih jauh, pengembangan kawasan konservasi berbasis masyarakat (*community-based conservation areas*) yang mengintegrasikan kebun budidaya Tabat Barito dengan pusat edukasi dan ekowisata juga menjadi strategi yang relevan. Kawasan ini dapat

menjadi wahana pembelajaran bagi generasi muda, sekaligus menjadi sumber pendapatan tambahan melalui wisata minat khusus yang mengangkat budaya dan kearifan lokal Kalimantan. Dengan demikian, Tabat Barito tidak hanya menjadi tanaman yang lestari, tetapi juga memberi nilai tambah sosial, ekonomi, dan ekologis yang nyata bagi masyarakat dan bangsa.

C. Budidaya Tabat Barito: Upaya Konservasi Dan Produksi

Budidaya tanaman obat Kalimantan seperti Tabat Barito menghadapi tantangan kompleks, baik dari aspek agronomis, ekologi, maupun sosial. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan informasi ilmiah mengenai teknik budidaya spesifik, mulai dari kebutuhan lahan, tipe tanah, intensitas cahaya, hingga pola irigasi yang optimal. Keterbatasan ini menyebabkan praktik budidaya masih bersifat tradisional dan tidak efisien, serta berdampak pada kualitas dan konsistensi hasil tanaman (Manurung, 2021).

Selain itu, sifat morfologi dan fisiologi Tabat Barito yang spesifik terhadap habitat asli Kalimantan juga menjadi kendala saat adaptasi ke wilayah lain. Hal ini memerlukan riset agronomi yang lebih dalam untuk menentukan varietas unggul, toleransi terhadap kondisi stres, serta respons tanaman terhadap pemupukan organik dan sintetis.



Gambar 2. Tabat barito budidaya teresterial (a) dan Epifit (b)

Tantangan lainnya meliputi ketiadaan regulasi teknis dan sertifikasi khusus untuk tanaman obat non-konvensional, termasuk belum adanya sistem standarisasi nasional untuk parameter kualitas tanaman Tabat Barito. Ketidakteraturan rantai pasok, serta minimnya insentif kebijakan dari pemerintah pusat maupun daerah juga memperlemah keberlanjutan budidaya di lapangan. Oleh sebab itu, pengembangan model budidaya Tabat Barito harus melibatkan pendekatan multidisipliner, termasuk aspek ekonomi, sosial-budaya, dan kebijakan publik.

3.1. Strategi Pengembangan Budidaya Adaptif dan Berkelanjutan

Pengembangan budidaya Tabat Barito perlu menggunakan pendekatan agroekologi yang mempertimbangkan keseimbangan antara produktivitas dan konservasi. Penggunaan teknik pembibitan vegetatif seperti stek batang atau cangkok menunjukkan potensi tinggi untuk mempertahankan sifat genetik tanaman induk. Hasil penelitian oleh Suryana et al. (2022) menunjukkan bahwa metode stek dengan perlakuan zat pengatur tumbuh (ZPT) mampu meningkatkan keberhasilan pembibitan hingga 85%.

Teknologi budidaya juga harus diarahkan pada sistem organik, tanpa penggunaan pestisida sintesis, dengan memanfaatkan kompos dan pupuk hayati yang ramah lingkungan. Pola tanam tumpangsari dengan tanaman keras atau semak lainnya dapat

meningkatkan keanekaragaman mikroba tanah dan mengurangi risiko serangan hama secara alami. Strategi adaptif lainnya adalah penerapan sistem integrasi lahan dengan agroforestri, khususnya dalam konteks lahan kritis dan pascatambang. Tabat Barito dapat dikembangkan bersama tanaman pelindung seperti gamal (*Gliricidia sepium*) atau sengon (*Falcataria moluccana*) dalam sistem kebun campur. Penggunaan sistem silvikultur intensif berbasis komunitas menjadi kunci dalam mendorong konservasi tanah, memperkuat mata pencaharian petani, dan meningkatkan nilai ekonomi lahan marginal.

3.2. Pemilihan Lokasi dan Sumber Benih

Penentuan lokasi budidaya yang tepat menjadi faktor penting dalam keberhasilan produksi. Lahan yang sesuai adalah tanah dengan drainase baik, bertekstur lempung berpasir, dan memiliki kandungan bahan organik tinggi. Penggunaan benih dari pohon induk terpilih yang memiliki produktivitas tinggi dan bebas penyakit harus diprioritaskan. Inisiasi bank plasma nutfah dan kebun koleksi tanaman induk dapat menjadi solusi jangka panjang dalam menjaga keberlanjutan sumber daya genetik Tabat Barito (Nasution et al., 2020).

Lebih lanjut, penting dilakukan pemetaan agroklimat dan uji adaptasi varietas Tabat Barito di berbagai zona agroekologi di Indonesia. Hasil pemetaan ini akan menjadi dasar dalam merancang distribusi lokasi budidaya secara nasional, sekaligus menghindari risiko maladaptasi yang dapat menurunkan produktivitas dan kandungan senyawa aktif tanaman. Kolaborasi antara pusat riset dan pemerintah daerah perlu difasilitasi untuk mendukung penyediaan benih bersertifikat, sistem distribusi yang efisien, dan dokumentasi silsilah genetik tanaman.

3.3. Sistem Monitoring dan Sertifikasi Mutu Budidaya

Untuk memastikan kualitas hasil budidaya, sistem monitoring berbasis indikator agronomis dan ekofisiologis perlu dikembangkan. Indikator ini mencakup tinggi tanaman, indeks kehijauan daun, berat kering biomassa, serta kandungan metabolit sekunder. Integrasi dengan sistem sertifikasi organik dan sertifikasi tanaman obat dari lembaga resmi seperti BPOM akan meningkatkan daya saing produk Tabat Barito di pasar nasional dan internasional.

Pelatihan dan pendampingan kepada petani lokal harus dilakukan secara berkelanjutan, terutama terkait pencatatan budidaya, manajemen panen, dan pascapanen. Keterlibatan perguruan tinggi dan lembaga penelitian dalam proses ini dapat memperkuat aspek ilmiah dan teknis yang dibutuhkan di lapangan.

Sistem sertifikasi juga dapat diperluas ke arah label indikasi geografis (Geographical Indication) untuk memperkuat identitas dan keaslian produk Tabat Barito dari Kalimantan. Label ini tidak hanya meningkatkan nilai jual, tetapi juga berfungsi sebagai instrumen pelindung budaya dan kekayaan hayati lokal. Diperlukan upaya advokasi dan dukungan regulasi untuk mempercepat pengakuan hak kekayaan intelektual komunal atas tanaman ini.

3.4. Budidaya sebagai Sarana Konservasi Genetik

Budidaya Tabat Barito juga harus diarahkan sebagai bagian dari konservasi genetik eks-situ. Tanaman hasil budidaya dapat menjadi bahan penelitian lanjutan untuk penyilangan, domestikasi, dan produksi metabolit sekunder yang lebih tinggi. Teknik kultur jaringan juga memiliki potensi untuk dikembangkan dalam skala laboratorium guna memperoleh bibit unggul dalam jumlah besar dengan keseragaman sifat yang tinggi.

Perbanyakan in vitro juga memungkinkan untuk menyelamatkan individu tanaman dari populasi liar

yang terancam akibat degradasi habitat. Koleksi in vitro di bank genetik nasional dan internasional akan menjamin pelestarian material genetik dalam jangka panjang. Selain itu, pengembangan kebun botani daerah yang menampilkan koleksi Tabat Barito dari berbagai daerah dapat menjadi pusat konservasi, pendidikan, dan penelitian terpadu.

Dengan sinergi antara metode tradisional dan teknologi modern, budidaya Tabat Barito dapat menjadi model pengelolaan tanaman obat endemik secara terpadu. Hal ini akan memperkuat ketahanan biodiversitas Indonesia, sekaligus mendorong kemandirian bahan baku obat berbasis sumber daya lokal.

D. Eksplorasi Metabolit Sekunder Dan Aktivitas Biofarmakologi

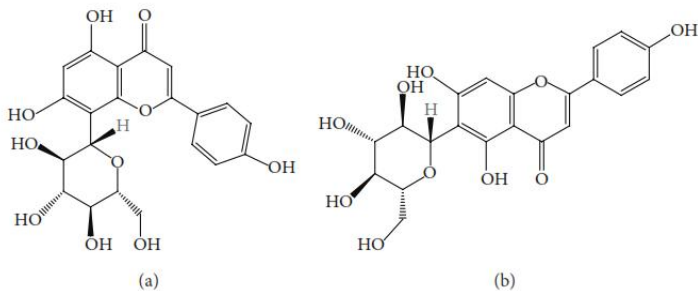
4.1. Profil Metabolit Sekunder: Identifikasi dan Kuantifikasi

Tabat Barito (*Ficus deltoidea* Jack) dikenal sebagai salah satu tumbuhan endemik Kalimantan yang memiliki kandungan metabolit sekunder yang sangat potensial. Analisis fitokimia mutakhir dengan metode kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) dan UPLC-QTOF-MS/MS telah mengidentifikasi sekitar 70 metabolit senyawa bioaktif, termasuk golongan flavonoid (vitexin, isovitexin, orientin), tanin, alkaloid, saponin, dan triterpenoid. Profil senyawa ini berbeda antar bagian tanaman, di mana daun cenderung lebih kaya akan flavonoid sedangkan akar memiliki kandungan tanin dan triterpenoid yang lebih tinggi (Manurung et al., 2018; Manurung, 2021; Nurmaida et al., 2018). Temuan ini menunjukkan potensi besar tanaman ini sebagai sumber antioksidan dan bahan bioaktif antidiabetik. Manurung 2018 melaporkan bahwa semakin tinggi umur tanaman tabat barito hasil budidaya semakin tinggi pula kandungan metabolit sekunder yang dihasilkan.

Tabel1. Komposisi senyawa metabolit sekunder tumbuhan tabat barito (*Ficus deltoidea* Jack)

Bagian Tumbuhan	Kandungan / Senyawa Kimia	Golongan
Buah	4-Methylbenzaldehyde	Schikimic Acid
	Methyl benzoate	Schikimic Acid
	Indole	Schikimic Acid
	Decanal	Aliphatics
	6-Methyl-5-hepten-2-one	Acyclic monoterpens
	Myrcene	Acyclic monoterpens
	(Z)- β -Ocimene	Acyclic monoterpens
	(E)- β -Ocimene	Acyclic monoterpens
	cis-Furanoid linalool oxide	Acyclic monoterpens
	trans-Furanoid linalool oxide	Acyclic monoterpens
	Linalool	Acyclic monoterpens
	cis-Pyranoid linalool oxide	Acyclic monoterpens
	trans-Pyranoid linalool oxide	Acyclic monoterpens
	Hotrienol	Acyclic monoterpens
	Perillene	Acyclic monoterpens
	Limonene	Cyclic monoterpene
	Dendrolasine	Sesquiterpenes
	α -cubebene	Sesquiterpenes
	Cyclosativene	Sesquiterpenes
	A-Ylangene	Sesquiterpenes
	α -Copaene	Sesquiterpenes
	β -bourbonene	Sesquiterpenes
	1,5-diepi- β -bourbonene	Sesquiterpenes
	β -Cubebene	Sesquiterpenes
	β -Elemene	Sesquiterpenes
	α -Gurjunene	Sesquiterpenes
	α -cis-bergamotene	Sesquiterpenes
	β -Caryophyllene	Sesquiterpenes
	α -Santalene	Sesquiterpenes
	Selina-3-6-diene	Sesquiterpenes
	α -trans-Bergamotene	Sesquiterpenes
	α -Humulene	Sesquiterpenes
	Alloaromadendrene	Sesquiterpenes
	Aciphyllene	Sesquiterpenes
	Germacrene D	Sesquiterpenes
	β -Selinene	Sesquiterpenes
	α d-Selinene	Sesquiterpenes
	α -Selinene	Sesquiterpenes
	Bicyclogermacrene	Sesquiterpenes
	α -Murolene	Sesquiterpenes
	Germacrene A	Sesquiterpenes
	δ -Amorphene	Sesquiterpenes
	(E,E) α -Farnesene	Sesquiterpenes
	2-epi- α -Selinene	Sesquiterpenes
	δ -Cadinene	Sesquiterpenes
	Cadina-1,4-diene	Sesquiterpenes
	Germacrene B	Sesquiterpenes
	Caryophyllene oxide	Sesquiterpenes
	Gallocatechin	Flavonoids
	Epigallocatechin	Flavonoids
	Catechin	Flavonoids
	(Epi)afzelechin-(epi)catechin	Flavonoids
	(Epi)afzelechin-(epi)afzelechin	Flavonoids

Bagian Tumbuhan	Kandungan / Senyawa Kimia	Golongan
	(Epi)catechin Epicatechin	Flavonoids
	Luteolin-6,8-C-diglucoside (lucenin-2)	Flavonoids
	Apigenin-6,8-C-diglucoside (vicenin-2)	Flavonoids
	Luteolin-6-C-hexosyl-8-C- pentoside	Flavonoids
	Luteolin-6-C-glucosyl-8-C- arabinoside	Flavonoids
	Apigenin-6-C-arabinosyl-8-C- glucoside (isoschaftoside)	Flavonoids
Daun	Luteolin-6-C-arabinosyl-8-C- glucoside	Flavonoids
	Apigenin-6-C-glucoside-8-C- arabinoside (schaftoside)	Flavonoids
	Luteolin-8-C-glucoside (orientin)	Flavonoids
	Apigenin-6-C-pentosyl-8-C-glucoside	Flavonoids
	Apigenin-8-C-glucoside (vitexin)	Flavonoids
	Apigenin-6-C-glucosyl-8-C-pentoside	Flavonoids
	Apigenin-6,8-C-dipentoside isomer	Flavonoids
	Apigenin-6-C-glucoside (isovitexin)	Flavonoids
	4-p-coumarolyquinic acid	Flavonoids
	Moretenol	Terpenes
Kultur Sel	(3 β ,13 β)-Lup-20(29)-en-3-ol (lupeol)	Triterpenes
	Rutin	Flavonoids
	Quercetin	Flavonoids



Gambar 3. Struktur kimia vitexin (a), Isovitexin (b)

Studi kuantitatif menegaskan kandungan alkaloid tertinggi mencapai 154 mg/mL, flavonoid sekitar 63 mg/mL, dan fenolik sekitar 100 mg/mL dalam ekstrak metanol daun Tabat Barito (Krishnawan et al., 2023; Manurung et al., 2019). Profil ini menjelaskan dasar kandungan senyawa bioaktif yang menjadi fokus pengembangan fitofarmaka.

Identifikasi ini tidak hanya penting untuk pemetaan kimiawi, tetapi juga menjadi dasar pengembangan produk herbal modern berbasis bukti

ilmiah. Senyawa-senyawa tersebut berperan sebagai antioksidan, antidiabetik, antiinflamasi, dan imunomodulator, sehingga memberikan peluang luas dalam pengembangan fitofarmaka.

4.2. Aktivitas Antioksidan, Antimutagenik, dan Sitoprotektif

Ekstrak daun Tabat Barito menunjukkan aktivitas antioksidan yang tinggi dalam berbagai uji in vitro seperti DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) dan ABTS (2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfonat) (Manurung et al., 2017; Lisdiani et al., 2022). Studi oleh Ooi et al. (2021) menunjukkan bahwa ekstrak air tanaman ini memiliki kemampuan menangkap radikal bebas setara dengan standar BHT (butylated hydroxytoluene). Ekstrak metanol daun tabat barito memiliki nilai aktivitas antioksidan sangat tinggi nilai sebesar $IC_{50} = 34,19 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Manurung et al., 2019; Manurung, 2021). Aktivitas ini menjadikan Tabat Barito sebagai kandidat kuat untuk melawan stres oksidatif yang menjadi dasar berbagai penyakit degeneratif.

Selain itu, kemampuan antimutagenik dari ekstrak *F. deltoidea* telah dibuktikan melalui uji Ames terhadap *Salmonella typhimurium*, yang menunjukkan kemampuan ekstrak untuk menghambat terjadinya mutasi gen akibat paparan senyawa mutagenik. Efek sitoprotektif juga telah diamati pada kultur sel hati manusia (HepG2), di mana ekstrak mampu mencegah kematian sel akibat stres oksidatif (Wahyurini et al., 2024).

4.3. Aktivitas Antidiabetik In Vivo dan Mekanisme Farmakologis

Aktivitas antihiperglikemik dari *F. deltoidea* dievaluasi melalui uji farmakologis. Ekstrak etanol tanaman ini terbukti signifikan menurunkan glukosa darah puasa dan postprandial pada tikus diabetes (Hamid et al., 2015). Uji serupa dengan model aloksan pada mencit menghasilkan penurunan kadar glukosa yang

signifikan setelah pemberian ekstrak selama 21 hari (Amriyani, 2023). Mekanisme ini dijelaskan lebih lanjut melalui penelitian pada tikus yang menunjukkan peningkatan ekspresi GLUT2 di hati dan pankreas setelah pemberian ekstrak *F. deltoidea* (125–500 mg/kg) (Abdel-Rahman et al., 2020). Selain peningkatan GLUT2, dilaporkan pula normalisasi kadar enzim antioksidan (CAT, SOD, GPx), serta penurunan malondialdehida (MDA) akibat aktivitas radikal bebas yang menurun.

Selanjutnya, studi *in silico* tahun 2024 menunjukkan bahwa vitexin memiliki afinitas tinggi terhadap PPAR- γ (ΔG -6,59 kcal/mol; $K_i \approx 14,8 \mu M$), yang mendukung potensi antidiabetik dan anti-inflamasi Tabat Barito (Wahyurini et al., 2024)

Beberapa penelitian praklinis telah mengkonfirmasi efektivitas ekstrak Tabat Barito dalam menurunkan kadar glukosa darah. Ekstrak etanol dan air dari daun tanaman ini secara signifikan mampu menurunkan kadar gula darah pada tikus diabetes yang diinduksi aloksan maupun streptozotocin. Mekanisme kerja diduga melalui peningkatan sensitivitas insulin, penghambatan enzim alfa-glukosidase, serta perlindungan terhadap sel beta pankreas (Hamid et al., 2015).

Mekanisme molekuler juga telah dianalisis melalui pendekatan bioinformatika dan molecular docking, yang menunjukkan bahwa senyawa vitexin dan isovitexin dalam *F. deltoidea* memiliki afinitas terhadap reseptor PPAR- γ (Peroxisome Proliferator-Activated Receptor gamma), yaitu target farmakologis utama pada terapi diabetes tipe 2. Aktivitas ini mendukung potensi Tabat Barito sebagai agen terapi alami yang multifungsi.

4.4. Penghambatan Pembentukan AGE dan Regulasi Patologi Diabetes

Ekstrak berbagai varietas *F. deltoidea* terbukti mampu menghambat terbentuknya Advanced Glycation End-

products (AGEs), serta menurunkan fruktosamin dan meningkatkan kelompok thiol dalam protein, yang merupakan mekanisme penting dalam perlindungan terhadap komplikasi diabetes (Dom et al., 2020) Kombinasi efek antioksidan dan antidiabetik ini menjadikan Tabat Barito calon bahan fitofarmaka sistemik yang menjanjikan.

Salah satu komplikasi utama diabetes adalah pembentukan Advanced Glycation End-products (AGEs), yang berperan dalam kerusakan pembuluh darah dan organ target. Penelitian menunjukkan bahwa ekstrak Tabat Barito mampu menghambat pembentukan AGEs secara signifikan, mengurangi akumulasi fruktosamin, dan menurunkan kadar malondialdehida (MDA), indikator kerusakan lipid akibat stres oksidatif (Dom et al., 2020).

Selain itu, peningkatan aktivitas enzim antioksidan endogen seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan glutathion peroksidase (GPx) juga dilaporkan meningkat setelah pemberian ekstrak. Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman ini tidak hanya bertindak sebagai agen penurun glukosa, tetapi juga sebagai pelindung seluler dari stres metabolik kronis.

4.5. Aktivitas Antimikroba dan Keamanan Toksikologi

Kajian in vitro terbaru mengungkapkan bahwa ekstrak daun *F. deltoidea* memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* (MIC 8 %) dan terhadap *Candida albicans* (MIC 25 %), serta tidak menunjukkan efek toksik jelas pada ginjal mencit hingga dosis 3.750 mg/kg selama 28 hari (Apriasari et al., 2024). Organoleptik ini memberikan nilai tambah aspek keamanan dan multifungsi tanaman tersebut.

Ekstrak *F. deltoidea* telah menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap beberapa bakteri patogen seperti *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan *Candida albicans*. MIC (Minimum Inhibitory

Concentration) dari ekstrak etanol berkisar antara 8% hingga 25% tergantung jenis mikroba yang diuji. Mekanisme antimikroba ini diperkirakan melalui kerusakan membran sel mikroba akibat interaksi fenolik dan flavonoid dengan protein membran (Apriasari et al., 2024; Rahayu et al. 2022).

Uji toksikologi subkronis juga menunjukkan bahwa pemberian ekstrak Tabat Barito pada tikus selama 28 hari dengan dosis hingga 3.750 mg/kgBB tidak menimbulkan kelainan histopatologis pada hati dan ginjal. Hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak tanaman relatif aman dan dapat dipertimbangkan untuk pengembangan sebagai bahan obat alami. (Nugroho et al., 2020; Aryani et al., 2020)

4.6. Validasi Ilmiah Partisipatif dan Integrasi Pengetahuan

Model penelitian berbasis komunitas sangat relevan dalam pengembangan Tabat Barito. Studi etnobotani sebelumnya telah mengidentifikasi lebih dari 15 metode pengolahan tradisional yang masih relevan digunakan (Rahmawati et al., 2020). Integrasi metode modern yang terbukti ilmiah—seperti profilome, uji farmakologi, dan toksikologi—dapat memperkuat klaim tradisional dan meningkatkan adopsi teknologi fitofarmaka secara berkelanjutan.

Pengetahuan tradisional masyarakat Dayak telah mengenal penggunaan Tabat Barito sebagai obat untuk gangguan menstruasi, luka, dan tonik tubuh. Validasi ilmiah terhadap klaim ini telah dilakukan dengan mendokumentasikan formulasi tradisional, serta membandingkannya dengan hasil laboratorium. Metode penelitian partisipatif berbasis masyarakat lokal sangat penting dalam mempertahankan pengetahuan lokal dan mendukung konservasi hayati dan budaya.

Integrasi antara ilmu modern dan pengetahuan lokal ini menjadi pendekatan inovatif dalam pengembangan fitofarmaka berbasis biodiversitas

lokal. Dengan pendekatan transdisipliner, sains tidak hanya memperkuat klaim empiris, tetapi juga berkontribusi dalam pemberdayaan masyarakat lokal melalui kegiatan hilirisasi produk berbasis kearifan lokal.

4.7. Tantangan, Peluang, dan Arah Riset Lanjutan

Meski sudah ada bukti biofarmakologi, diperlukan uji praklinis jangka panjang, uji sistematis terhadap toksisitas kronis, dan uji interaksi dengan obat konvensional. Kajian farmakodinamik dan farmakokinetik juga belum memadai. Selain itu, pendekatan standarisasi ekstrak dengan parameter kandungan vitexin/isovitexin perlu segera diadopsi untuk memastikan konsistensi produk fitofarmaka.

Pelaksanaan uji klinis fase I untuk menilai keamanan pada manusia sangat penting untuk memperluas upaya komersialisasi. Kolaborasi lintas sektoral—akademisi, pemerintah, serta industri—mutlak diperlukan guna mempercepat hilirisasi Tabat Barito sebagai salah satu ikon fitofarmaka Nusantara.

Walaupun potensi biofarmakologis Tabat Barito telah banyak dibuktikan, masih diperlukan penelitian lebih lanjut terutama dalam uji klinis pada manusia, penentuan dosis optimal, interaksi obat, serta standarisasi ekstrak. Pengembangan metode isolasi senyawa aktif secara efisien, serta pengujian aktivitas farmakokinetik dan farmakodinamik juga menjadi prioritas.

Dari sisi peluang, Tabat Barito dapat dikembangkan menjadi sediaan fitofarmaka, kosmetik herbal, dan suplemen kesehatan. Kebutuhan pasar global terhadap produk alami dan ramah lingkungan memberikan prospek besar untuk pengembangan komersial tanaman ini. Oleh karena itu, diperlukan sinergi antara dunia akademik, industri, dan pemerintah dalam menciptakan ekosistem riset dan inovasi yang mendukung Tabat Barito sebagai ikon fitofarmaka Nusantara.

E. Implikasi Ilmiah, Pengembangan Fitofarmaka, Dan Peran Akademisi

5.1. Integrasi Ilmu Dasar, Terapan, dan Lokalitas

Eksplorasi Tabat Barito sebagai sumber bahan obat alami bukan hanya sebuah kajian fitokimia semata, tetapi telah menjadi wujud integrasi antara ilmu dasar (botani, kimia, farmakologi), ilmu terapan (teknologi budidaya, bioproses, formulasi sediaan), dan kearifan lokal (etnobotani dan praktik pengobatan tradisional). Integrasi ini merupakan manifestasi pendekatan interdisipliner yang diperlukan dalam membangun sains berbasis biodiversitas tropis Indonesia. Dalam konteks pendidikan tinggi, pendekatan ini sekaligus memperkuat posisi perguruan tinggi sebagai pusat riset unggulan lokal dan nasional.

Lebih jauh, integrasi ilmu ini tidak hanya bersifat horizontal antar-disiplin, tetapi juga vertikal, menghubungkan pengetahuan tradisional yang telah diwariskan lintas generasi dengan penemuan dan validasi ilmiah mutakhir. Proses ini mencerminkan pentingnya epistemologi hibrida dalam ilmu kontemporer, yaitu keberanian untuk menjembatani nilai empiris masyarakat lokal dengan metodologi sains modern. Sebagai contoh, formulasi ramuan tradisional masyarakat Dayak yang menggunakan rebusan daun Tabat Barito kini terbukti memiliki aktivitas antioksidan dan antidiabetik, yang telah diidentifikasi melalui metode laboratorium canggih. Oleh karena itu, pendekatan ini menjadi strategi kunci dalam menciptakan produk berbasis alam yang tidak hanya ilmiah tetapi juga relevan secara sosial dan budaya. Perguruan tinggi dan lembaga penelitian diharapkan memainkan peran katalisator dalam menjembatani pengetahuan lokal dan global secara setara, adil, dan produktif.

5.2. Kontribusi terhadap Kemandirian Bahan Baku Obat

Indonesia menghadapi tantangan besar dalam ketergantungan terhadap impor bahan baku obat. Padahal, kekayaan hayati Indonesia, termasuk Tabat Barito, menyimpan potensi besar sebagai bahan aktif fitofarmaka. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi konkret dalam penyediaan sumber daya hayati lokal yang berkualitas tinggi dan aman, serta mendukung program kemandirian bahan baku obat nasional yang telah dicanangkan Kementerian Kesehatan RI dalam Rencana Induk Ketahanan Farmasi 2020–2030.

Lebih dari sekadar alternatif substitusi, Tabat Barito dapat menjadi pelopor dalam pembentukan ekosistem bahan baku berbasis biodiversitas Nusantara. Melalui penguatan rantai nilai dari hulu (konservasi dan budidaya) hingga hilir (proses ekstraksi, formulasi, dan komersialisasi), tanaman ini dapat menjadi model pembangunan farmasi berbasis alam yang inovatif dan berkelanjutan. Inisiatif ini juga membuka peluang bagi daerah-daerah penghasil seperti Kalimantan Tengah dan Selatan untuk menjadi pusat industri biofarmaka lokal yang terintegrasi dengan komunitas.

Selain itu, keterlibatan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM), serta Balai Pengembangan Obat Tradisional Daerah (BPOTD) menjadi penting dalam memfasilitasi percepatan transisi dari riset laboratorium ke produk yang siap edar. Melalui penguatan sinergi kebijakan lintas sektor, Indonesia memiliki peluang untuk merebut kembali kedaulatan bahan baku obat dari tangan industri farmasi global, dan memperkuat sistem kesehatan nasional berbasis sumber daya lokal.

5.3. Peta Jalan Pengembangan Produk Fitofarmaka

Temuan-temuan ilmiah dari penelitian ini dapat menjadi pijakan dalam peta jalan (roadmap)

pengembangan produk fitofarmaka berbasis Tabat Barito. Tahapan tersebut mencakup: (1) konservasi genetik dan budidaya skala pilot, (2) standardisasi dan identifikasi senyawa aktif utama, (3) uji praklinis dan klinis terkontrol, (4) pendaftaran produk ke BPOM, serta (5) komersialisasi dalam bentuk suplemen, fitofarmaka, atau kosmetik herbal. Peran pusat riset, industri, dan regulasi harus bersinergi dalam menciptakan ekosistem inovasi yang kondusif.

Peta jalan ini juga harus diiringi dengan pengembangan pusat unggulan (center of excellence) di tingkat universitas atau daerah yang memiliki fasilitas riset terpadu, bank plasma nutfah, serta inkubator bisnis. Dalam kerangka triple helix (akademisi-industri-pemerintah), setiap aktor berperan strategis: akademisi sebagai penghasil pengetahuan dan teknologi, industri sebagai penggerak hilirisasi dan investasi, serta pemerintah sebagai regulator dan fasilitator ekosistem inovasi. Dukungan kebijakan fiskal, insentif penelitian, serta jaminan pembelian hasil bahan baku lokal akan mempercepat realisasi roadmap ini ke dalam produk yang tersedia di pasar nasional maupun internasional.

Dalam konteks jangka panjang, roadmap ini seharusnya terintegrasi pula dengan strategi branding nasional produk herbal Indonesia, agar produk berbasis Tabat Barito memiliki identitas khas yang kompetitif di pasar global. Penetapan indikator keberhasilan di setiap tahap, mulai dari peningkatan kapasitas produksi petani hingga pengakuan regulasi internasional seperti WHO-GMP atau ASEAN Harmonized Cosmetic Regulatory Scheme, menjadi fondasi keberlanjutan roadmap yang berbasis data dan akuntabilitas tinggi.

5.4. Pendidikan, Inovasi, dan Hilirisasi Riset

Dalam konteks Tridharma Perguruan Tinggi, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan ajar berbasis riset (research-based education), sekaligus sumber inovasi

untuk pengembangan produk berbasis alam. Selain itu, pendekatan hilirisasi hasil riset dalam bentuk kerja sama dengan industri dan masyarakat menjadi esensial agar riset tidak berhenti pada publikasi, tetapi berlanjut pada nilai manfaat ekonomi dan sosial. Kampus harus menjadi inkubator inovasi sekaligus fasilitator diseminasi teknologi kepada masyarakat.

Pengembangan kurikulum berbasis potensi lokal seperti Tabat Barito tidak hanya mendorong lahirnya lulusan yang kompeten, tetapi juga relevan terhadap tantangan dan peluang daerah. Mahasiswa dan peneliti muda harus terlibat langsung dalam kegiatan riset lapangan, budidaya, serta pengembangan produk, sehingga memperkuat pengalaman praktik dan inovasi nyata. Di sisi lain, keterlibatan mitra industri dalam proses co-creation akan memastikan bahwa hasil riset tidak berhenti di meja laboratorium, melainkan bertransformasi menjadi solusi yang aplikatif dan bernilai ekonomi.

5.5. Diplomasi Hayati dan Pemberdayaan Lokal

Pemanfaatan Tabat Barito sebagai simbol fitofarmaka Nusantara juga memiliki nilai strategis dalam diplomasi hayati dan penguatan identitas nasional. Pengakuan global terhadap potensi tanaman endemik Indonesia dapat dimanfaatkan untuk memperkuat posisi Indonesia dalam forum-forum biodiversitas, perdagangan biofarmaka, dan kerja sama riset internasional. Di sisi lain, pemberdayaan masyarakat lokal melalui sistem agroindustri tanaman obat berbasis komunitas akan menciptakan ekonomi inklusif yang memperkuat kesejahteraan sekaligus konservasi hayati.

Diplomasi hayati juga dapat dimaknai sebagai bentuk soft power baru Indonesia dalam percaturan global, dengan menempatkan kekayaan hayati sebagai aset strategis bangsa. Oleh karena itu, penting adanya kebijakan nasional yang mendukung perlindungan sumber daya genetik, mendorong paten berbasis

biodiversitas lokal, serta mengatur benefit-sharing secara adil bagi komunitas adat. Melalui pendekatan ini, pemberdayaan lokal tidak hanya menjadi upaya pemberian manfaat ekonomi, tetapi juga pengakuan terhadap hak dan peran masyarakat sebagai penjaga warisan hayati bangsa.

5.6. Peran Akademisi dan Kepemimpinan Ilmiah

Sebagai seorang akademisi, Guru Besar tidak hanya bertanggung jawab dalam pengembangan ilmu pengetahuan, tetapi juga harus hadir sebagai pemimpin ilmiah yang mampu mengarahkan agenda riset nasional, membina generasi muda, serta menjadi penghubung antara pengetahuan, kebijakan, dan masyarakat. Dengan mengambil topik Tabat Barito, orasi ini mengajak kita semua untuk membangun sains yang berpihak pada biodiversitas lokal, memajukan ilmu, dan sekaligus berkontribusi terhadap kemandirian bangsa.

Kepemimpinan ilmiah harus diwujudkan dalam bentuk advokasi ilmiah, pembinaan komunitas ilmiah muda, serta keterlibatan aktif dalam penyusunan kebijakan publik. Akademisi harus menjadi motor perubahan yang berani memperjuangkan riset berbasis potensi daerah dan berpihak pada kebutuhan masyarakat luas. Di tengah arus globalisasi dan tantangan perubahan iklim, peran strategis ilmuwan Indonesia dalam menjaga, mengelola, dan mengoptimalkan kekayaan alamnya menjadi panggilan yang tidak bisa ditunda. Guru Besar, sebagai sosok panutan akademik, diharapkan mampu menjadi jangkar etika dan kompas moral dalam pembangunan ilmu dan teknologi yang berkeadilan dan berkelanjutan.

F. Penutup

Tabat Barito dari Kalimantan adalah simbol bahwa keanekaragaman hayati Indonesia menyimpan potensi luar biasa untuk masa depan kesehatan global.

Integrasi antara eksplorasi ilmiah, pelestarian hayati, dan pemberdayaan masyarakat menjadi landasan dalam menjadikan tanaman ini sebagai model pengembangan fitofarmaka Indonesia yang unggul dan berkelanjutan.

Tabat Barito dari Kalimantan bukan sekadar tumbuhan lokal, melainkan simbol kekayaan hayati dan potensi bangsa dalam menciptakan solusi kesehatan yang mandiri, berbasis bukti, dan berakar pada kearifan lokal. Melalui integrasi antara penelitian ilmiah, konservasi, budidaya, dan hilirisasi inovatif, Tabat Barito berpotensi besar menjadi representasi fitofarmaka unggulan Nusantara di kancah global.

Orasi ini menjadi refleksi atas tanggung jawab ilmuwan untuk tidak hanya menggali pengetahuan baru, tetapi juga menyalurkannya bagi kemaslahatan masyarakat luas. Keberhasilan pengembangan Tabat Barito bergantung pada sinergi seluruh elemen bangsa; dari akademisi, peneliti, praktisi industri, pembuat kebijakan, hingga komunitas lokal yang menjadi penjaga alam. Di tengah arus disrupsi global, Tabat Barito mengajarkan pentingnya kembali ke akar: menghargai warisan lokal, menyelaraskan dengan ilmu modern, dan menumbuhkan harapan baru untuk kemandirian bangsa yang berdaulat, sehat, dan berkelanjutan.

MULAWARMAN

DAFTAR PUSTAKA

- Manurung H, Kustiawan W, Kusuma IW and Marjenah. 2017. Total flavonoid content and antioxidant activity in leaves and stems extract of cultivated and wild tabat barito (*Ficus deltoidea* Jack). AIP Conference Proceedings. 1813(1): 020007-1-7. <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4975945?class=pdf>
- Manurung H, Kustiawan W, Kusuma IW and Marjenah. 2017. Total flavonoid content and antioxidant activity of tabat Barito (*Ficus deltoidea* Jack) on different plant organs and ages. *Journal of Medicinal Plants Studies*. 5(6): 120-125. <http://www.plantsjournal.com/archives/2017/vol5issue6/PartB/5-6-23-951.pdf>.
- Manurung H, Kustiawan W, Kusuma IW and Marjenah. 2018. Evaluation of soil and leaves nutrient on the growth of cultivated tabat barito (*Ficus deltoidea* Jack) in Makroman Village, Sambutan District of East Kalimantan, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 144(1):1-7. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/144/1/012017/pdf>
- Manurung H, Kustiawan W, Kusuma IW, Marjenah, Nugroho RA. 2019. Growth, phytochemical profile, and antioxidant activity of cultivated tabat barito (*Ficus deltoidea* Jack.) under drought stress. *International Journal of Biosciences*. 14(1): 366-378. <http://www.innspub.net/wp-content/uploads/2019/01/IJB-Vol-14-No-1-p-366-378.pdf>
- Manurung H, Aryani R, Nugrogo RA, Sari YP, Chernovita R, Auliana. 2019. Phytochemical Analysis And Antioxidant Activity Of Leaves Extracts Of Endemic Plant Jahe Balikpapan (*Etlingera Balikpapanensis* A.D. Poulsen). *International Journal of Scientific and Technology Research (IJSTR)*. 8(9): 308-313.
- Manurung H, Kustiawan W, Kusuma IW, Marjenah. 2019. Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Pertumbuhan dan Kadar Flavonoid Total Tumbuhan

- Tabat Barito (*Ficus deltoidea* Jack). *J. Hort. Indonesia*.10(1): 55-62.
- Manurung, H. 2021. Tabat Barito (*Ficus deltoidea* Jack): Kajian Budidaya, Kandungan Metabolit Sekunder, Bio-Aktivitas, Prospek Fitofarmakologis. Deepublish. Jogyakarta. 147 Hal.
- Manurung, H., Susanto, D., Kusuma, R., Nugroho, R.A., Aryani, R., Setiawan, A. 2024. Allelopathic effects of lai (*Durio kutejensis* Hassk. Becc) leaf extract, on germination and early growth of weeds and crops. *Allelopathy Journal* 63 (1): 45-58. <https://doi.org/10.26651/allelo.j/2024-63-1-1498>.
- Manurung, H., Susanto, D., Kusumawati, E., Aryani, R., Nugroho, R.A., Kusuma, R., Rahmawati, Z., Sari, R.D. 2022. Phytochemical, GC-MS analysis and antioxidant activities of leaf methanolic extract of Lai (*Durio kutejensis*), the endemic plant of Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas* 23(11):5566-5573. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231104>
- Lisdiani, Susanto, D., Manurung, H. 2022. Phytochemical screening and antioxidant activity of methanol extract of *Dillenia excelsaleaf*. *Biodiversitas*, 23(7): 3827-3835. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230760>
- Nugroho, R.A., Aryani, R., Manurung, H., Rudianto, Prahastika, W., Alfari, A.K., Pusparini, N.A.O., Lalong,A.,Juwita, A. 2020.Acute and Subchronic Toxicity Study of the Ethanol Extracts from *Ficus deltoidea* Leaves in Male Mice. *Macedonian Journal of Medical Sciences*, 15;8(A):76-83. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2020.3989>
- Retno Aryani, R., Nugroho, R.A., Manurung, H., Mardayanti, R.,Rudianto, Prahastika, W., Auliana, Aulia Putri Bru-Karo, A.P. 2020. *Ficus deltoidea* leaves methanol extract promote wound healing activity in mice. *EurAsian Journal of BioSciences*, 14, 85-91.
- Abdel-Rahman, R. F., Ezzat, S. M., Ogaly, H. A., Abd-Elsalam, R. M., Hessin, A. F., Fekry, M. I., Mansour, D. F., & Mohamed, S. O. (2020). *Ficus deltoidea* extract down-regulates protein tyrosine phosphatase 1B expression in a rat model of type 2 diabetes mellitus: a new insight into its antidiabetic mechanism. *Journal of nutritional science*, 9, e2. <https://doi.org/10.1017/jns.2019.40>

- Abdulai, I., Afriyie, D., & Karan, S. (2021). Bioactive compounds from *Ficus* species: Pharmacological perspectives. *Journal of Ethnopharmacology*, 273, 114017. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114017>
- Amriyani, A. S. R. (2023). Gambaran efek pemberian ekstrak daun *Ficus deltoidea* pada tikus diabetes aloksan. *Jurnal Analis Kesehatan*, 12(2), 45–53. <https://ejournalanalisis.poltekkes-kaltim.ac.id/index.php/jak/article/view/302>
- Apriasari, M.L., Adhiya, G.M., Wasiaturrahmah, Y., Utami J.P., Firdaus I.W.A.K., Selviana Rizky Pramitha, S.R. 2025. Antibacterial, antifungal and subchronic toxicity test of *Ficus deltoidea* Jack leaves extract. *Odonto: Dental Journal*. 12(2):19-28. DOI: [10.30659/odj.12.1.19-28](https://doi.org/10.30659/odj.12.1.19-28)
- Aziz, Z. A., Davey, M. R., Power, J. B., Anthony, P., & Razaq, S. (2017). *Ficus deltoidea* Jack: A review on its morphology, medicinal uses and pharmacological activities. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(7), 653–660. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.07.002>
- Choo, C. Y., Sulong, N. Y., Man, F., & Wong, T. W. (2012). Vitexin and isovitexin from the leaves of *Ficus deltoidea* with in-vivo α -glucosidase inhibition. *Journal of Ethnopharmacology*, 142, 776–780.
- Dom, S. M., et al. (2020). Antiglycation and antioxidant properties of *Ficus deltoidea* varieties. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 6374632.
- Dom, S. M., Hassan, S. N., & Rahmat, A. (2020). Effect of *Ficus deltoidea* on advanced glycation end-products: A potential therapeutic option for diabetes complications. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/9034981>
- Fatihah HNN, Nashriyah M, Nor Zaimah AR, Khairil M dan Ali MA. 2014. Leaf Morphology and Anatomy of 7 Varieties of *Ficus deltoidea* (Moraceae). *Turkish Journal of Botany* 38: 1301-1307.
- Hamid, M., Ismail, A., Adam, Z., et al. (2015). Antihyperglycemic and glucose tolerance activity of *Ficus deltoidea* ethanolic extract in diabetic rats. *Jurnal Sains Kesehatan Malaysia*.

- Hamidah, S., & Munandar, A. (2018). Etnobotani Tabat Barito (*Ficus deltoidea* Jack) pada masyarakat Dayak di Kalimantan Tengah. *Biodiversitas*, 19(5), 1914–1921. <https://smujo.id/biodiv/article/view/3195>
- Hidayat, N., & Pramudito, T. E. (2023). Strategi hilirisasi riset tanaman obat Nusantara berbasis biodiversitas lokal. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Kesehatan*, 13(1), 10–18. <https://doi.org/10.22435/jppk.v13i1.5678>
- Irawati, D., & Suryani, E. (2019). Habitat dan distribusi *Ficus deltoidea* di Kalimantan Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 5(1), 89–94. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050119>
- Krishnawan Firdaus, I. W. A., Rahmah, A., Laillyza, M., & Wasiaturrahmah, Y. (2023). Quantitative phytochemical test of methanol extract of Tabat Barito leaves. *Dentino: Jurnal Kedokteran Gigi*, 8(1).
- Krishnawan, F. M. A., Yuliana, N. D., & Sari, D. R. (2023). Profil fitokimia dan aktivitas antioksidan ekstrak *Ficus deltoidea* Jack. *Indonesian Journal of Phytochemistry*, 12(2), 45–52. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/ijphyto/article/view/44555>
- Lestari, P., Sudarmadji, A., & Putri, R. (2020). Potensi agroforestri Tabat Barito untuk konservasi dan pemberdayaan masyarakat. *Jurnal Kehutanan Tropika*, 8(1), 33–40. <https://doi.org/10.29244/jkt.v8i1.33344>
- Nasution, F. I., Harahap, F., & Sembiring, I. (2020). Koleksi plasma nutfah *Ficus deltoidea* di Kebun Raya Indonesia. *Jurnal Biologi Indonesia*, 16(2), 145–152. <https://doi.org/10.14203/jbi.v16i2.5207>
- Ooi, D. J., Iqbal, S., & Ismail, M. (2021). Antioxidant activity and phenolic content of *Ficus deltoidea* aqueous extract. *Journal of Food Biochemistry*, 45(2), e13587. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13587>
- Putri, Y. W., Lestari, A., & Sari, A. N. (2023). Pengembangan usaha kecil berbasis tanaman obat di pedesaan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(2), 123–130. <https://doi.org/10.15294/jpkm.v6i2.54321>
- Rahmawati, T., Sardjono, M. A., & Yuliana, N. D. (2020). Dokumentasi pengetahuan lokal Tabat Barito di Kalimantan. *Biodiversitas*, 21(4), 1608–1614. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210444>

- Rauf, A., Uddin, G., Siddiqui, B. S., & Khan, H. (2015). A review on phytochemical and pharmacological studies of genus *Ficus*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 9(15), 470–484.
- Reynaldi, Rahmadi, A. & Arryati, H. 2019. Ethnobotany Medicinal Plant by The People Of Dayak Bakumpai In Muara Ripung Village On Sub District Southern District Southern Barito Central Kalimantan Province. *Jurnal Sylva Scientiae* 2(6).
- Suryana, R., Rahman, M., & Lestari, A. (2022). Budidaya adaptif Tabat Barito dengan teknik stek dan ZPT. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 50(2), 134–142. <https://doi.org/10.24831/jai.v50i2.42454>
- Sutrisno, E., Haris, A., & Wijayanti, P. (2021). Ketersediaan bahan baku tanaman obat di Kalimantan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.20886/jpht.2021.18.1.1-9>
- Wahyurini, S., Mahardika, I. G., & Widodo, W. (2024). Potensi vitexin dan isovitexin dari *Ficus deltoidea* sebagai agen antidiabetik: Studi in silico dan in vivo. *Indonesian Journal of Pharmacy*, 35(1), 12–20. <https://doi.org/10.14499/ijp.v35i1.56789>
- Widodo, W., Anwar, S., & Putra, Y. A. (2021). Model konservasi in-situ dan eks-situ tanaman obat endemik. *Jurnal Konservasi Sumberdaya Alam*, 16(2), 112–120. <https://doi.org/10.15294/jksa.v16i2.42567>.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini iijinkan saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Pemerintah Republik Indonesia, yaitu kepada Menteri Pendidikan Tinggi Sain dan Teknologi Republik Indonesia beserta jajarannya, atas pemberian Penghargaan tertinggi yang diberikan kepada saya, yaitu sebagai Guru Besar pada bidang ilmu Fisiologi Tumbuhan-Produk Metabolit Sekunder Tumbuhan-Fitokimia.

Ucapan terima kasih serta hormat, saya sampaikan kepada Rektor Universitas Mulawarman, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU, ASEAN Eng., Bapak/Ibu Ketua, Sekretaris serta anggota Senat, Bapak/Ibu Wakil Rektor I, II, III dan IV, Universitas Mulawarman yang telah memberikan dukungan, sehingga terlaksananya pengukuhan ini dengan baik, hikmat dan lancar.

Ucapan terima kasih kepada Dekan FMIPA, Universitas Mulawarman, Ibu Dr. Dra. Hj. Ratna Kusuma, M.Si., Para Wakil Dekan FMIPA Universitas Mulawarman, Ketua, sekretaris, anggota senat FMIPA Universitas Mulawarman, Ketua, Sekretaris, Dosen Jurusan Biologi, terkhusus bapak ibu dosen tim riset di Jurusan Biologi, serta rekan sejawat civitas akademika FMIPA Universitas Mulawarman atas dukungan dan motivasi sehingga saya dapat mencapai gelar tertinggi di Perguruan Tinggi.

Ucapan terimakasih, hormat dan tanda cinta kepada kedua orang tua saya Bapa-Salamat Manurung (Alm.), Oma-Sellina Sirait (Alm.) yang telah melahirkan, merawat membesarkan penuh pengorbanan tulus ikhlas dan setia mendoakan saya semasa hidup mereka, Kepada Ito saya Porsea Jekson Manurung, Marojahan Manurung (Alm.), kakak saya Rusbine Manurung dan Helmi Manurung, seluruh Pomparan (Keluarga Besar) Op. Naomi Manurung. Kepada kedua mertua saya Bapak St. Mubin Silitonga (Alm.) ibu

Basaria Sihombing (Alm.) dan seluruh Pomparan (Keluarga Besar) Op. Grace Steffany Silitonga, atas segala dukungan, motivasi, kebersamaan dan doanya.

Jenjang karir tertinggi dalam dunia akademik dan gelar yang saya peroleh ini adalah berkat doa, cinta, dukungan luar biasa, pengertian dan kesabaran dari Suami yang saya cintai Ir. Jainal Silitonga, SP. dan anak-anak saya yang luar biasa yang sangat saya sayangi; Dokter muda Grace Steffany Silitonga, S.Ked, Daniel Frederick Silitonga dan Timothy Gerald Silitonga, yang selalu memberi warna sukacita, menemani, menyemangati perjalanan hidup saya.

Ucapan terimakasih dan hormat saya sampaikan kepada guru-guru saya di SD Negeri Pangaloan Ail, SMP Katolik Tri Sakti Medan, SMA Negeri 5 Medan, juga kepada dosen-dosen saya di Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sumatera Utara, Magister Biologi Institut Pertanian Bogor, Program Doktor Ilmu Kehutanan Universitas Mulawarman. Terkhusus kepada Promotor Saya Prof. Dr. Ir. Wawan Kustiawan, M.Agr.Sc., Prof. Dr. Irawan Wijaya Kusuma, S.Hut., MP., Prof. Dr. Ir. Marjenah M.P. saya haturkan rasa hormat dan terimakasih atas bimbingan, arahan, serta kontribusi ilmiah dalam perjalanan akademik saya.

Tak lupa saya mengucapkan terimakasih kepada seluruh mahasiswa dan alumni serta tendik di Jurusan Biologi yang menjadi bagian dari perjalanan akademik, memberi semangat dan motivasi bagi saya untuk terus berkembang dan berkontribusi dalam dunia akademik.

Pada akhir orasi ilmiah ini saya kembali Mengucap Syukur dan Hormat Setinggi-tingginya kepada Tuhan Yesus Kristus, Tuhan Yang Maha Kuasa, semoga Ilmu Pengetahuan, dan Anugerah Guru Besar yang saya terima, bermanfaat sebesar-besarnya bagi saya, keluarga, dan masyarakat luas dalam mencapai kesejahteraan dan menjadi berkat sukacita kebaikan dan terang bagi sesama.

Terimakasih

CURRICULUM VITAE

Nama : Prof. Dr. Hetty Manurung, S.Si.,
M.Si.
NIP : 197107102000122001
NIDN : 0010077103
Tempat, Tanggal
Lahir : Medan, 10 Juli 1971
Agama : Kristen
Email : hetty_manroe@ymail.com;
hetty_manroe@fmipa.unmul.ac.id
No HP : 081347195582
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam
Pangkat, Gol. : Pembina Tingkat I, IV/b
Jabfung, TMT : Guru Besar (Professor)
TMT Golongan : 1 Juni 2024
ID SINTA : 5975520
ID SCOPUS : 57193710132
ID ORCID : 0000-0003-0161-6459
ID RESEARCHER : AAS-6980-2020

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Sumatera Utara (USU) Medan, Tahun 1996
2. Magister (S2) Botani, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Institut Pertanian Bogor (IPB) Bogor, Tahun 2002
3. Doktor (S3) Program Doktor Ilmu Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman (Unmul) Samarinda, Tahun 2018

RIWAYAT PENELITIAN

No	Tahun	Judul
1.	2025	Hibah Penelitian Kompetitif Nasional PFR: Frass Maggot Sebagai Fertilizer <i>Lactuca</i>

No	Tahun	Judul
		<i>Sativa</i> Sistem Hidroponik Batch Semi-Continue: Upaya Penggunaan Pupuk Organik Cair Ramah Lingkungan (Ketua)
2.	2024	Hibah Pendanaan PNBPFMIPA Uji Aktivitas Alelopati Dan Fitotoksisitas Ekstrak Daun Tabat Barito (<i>Ficus Deltoidea</i> Jack) Terhadap Perkecambahan Dan Pertumbuhan Gulma Pletekan (<i>Ruellia Tuberosa</i> L.) (Ketua)
3.	2024	Hibah Kompetitif Nasional PFR: Protein Defatted Maggot Sebagai Bahan Dasar Pakan Hewan: Uji Aktivitas Enzim Antioksidan, Profil Darah Dan Histologi Sistem Pencernaan Mencit (Anggota)
4.	2023	Hibah Pendanaan PNBPFMIPA: Eksplorasi Metabolit Sekunder Buah Merkubung (<i>Macaranga Gigantea</i> (Rchb.F. & Zoll) Müll.Arg) Yang Berpotensi Sebagai Sumber Bahan Obat Alami. (Ketua)
5.	2023	Hibah Penelitian Desentralisasi PDUPT: Anti-Angiogenik Nanopartikel Daun Tabat Barito (<i>Ficus Deltoidea</i> Jack) Pada Membran Korio Alantois Embrio Ayam Diinduksi Basic Fibroblast Growth Factor (Bfgf) (Anggota)
6.	2022	Hibah Penelitian Matching Fund Kedaireka: Pilot Proyek Budidaya Maggot Di Pt. Berkah Salama Jaya, Sentra Penggemukan Sapi, Loa Janan, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur (Anggota)
7.	2022	Penelitian Desentralisasi PDUPT: Anti-Angiogenik Nanopartikel Daun Tabat Barito (<i>Ficus Deltoidea</i> Jack) Pada Membran Korio Alantois Embrio Ayam Diinduksi Basic Fibroblast Growth Factor (Bfgf) (Anggota)
8.	2022	Hibah Pendanaan PNBPFMIPA: Uji Potensi Ekstrak Daun Tanikkara (<i>Dillenia Excelsa</i> (Jack) Martelli Ex Gilg) Sebagai Antibakteri Dan Antioksidan Alami (Anggota)

No	Tahun	Judul
9.	2022	Hibah Desentralisasi PDUPT: Anti-Angiogenik Nanopartikel Daun Tabat Barito (<i>Ficus Deltoidea</i> Jack) Pada Membran Korio Alantois Embrio Ayam Diinduksi Basic Fibroblast Growth Factor (Bfgf) (Anggota)
10.	2021	Hibah Desentralisasi PDUPT: Toksisitas Akut Dan Subkronik Ekstrak Etanol Daun Tabat Barito (<i>Ficus Deltoidea</i> Jack) Dan Efeknya Terhadap Sistem Reproduksi Mencit Jantan (<i>Mus Musculus</i> L) (Anggota)
11.	2021	Hibah Penelitian PUI ISDB: Bioaktivitas Antioksidan Dan Bioherbisida Ekstrak Daun Lai (<i>Durio Kutejensis</i> Hassk. Bec.) Tumbuhan Endemik Kalimantan Serta Analisis Gcms Dan Fitokimianya (Ketua)
12.	2021	Hibah Penelitian Desentralisasi Pdupt: Toksisitas Akut Dan Subkronik Ekstrak Etanol Daun Tabat Barito (<i>Ficus Deltoidea</i> Jack) Dan Efeknya Terhadap Sistem Reproduksi Mencit Jantan (<i>Mus Musculus</i> L) (Anggota)
13.	2019	Hibah Penelitian Desentralisasi PDUPT: Toksisitas Akut Dan Subkronik Ekstrak Etanol Daun Tabat Barito (<i>Ficus Deltoidea</i> Jack) Dan Efeknya Terhadap Sistem Reproduksi Mencit Jantan (<i>Mus Musculus</i> L) (Anggota)
14.	2019	Hibah Penelitian PIU ISDB: Analisis Potensi Tumbuhan Endemik Jahe Balikpapan (<i>Etlingera Balikpapanensis</i> A. D. Poulsen) Sebagai Antioksidan (Ketua)
15.	2016	Hibah Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PDD): Analisis Kandungan Total Phenol Dan Flavonoid Tumbuhan Tabat Barito (<i>Ficus Deltoidea</i>) Pada Berbagai Tingkat Umur (Ketua)
16.	2016	Hibah Penelitian Desentralisasi PDUPT: Pengaruh Ekstrak Daun Ketapang (<i>Terminalia Catappa</i> Linn.) Terhadap Profil Hematologi Dan Uji Efektivitas Sebagai

No	Tahun	Judul
		Hepatoprotektan Serta Antibakteria Pada Budidaya Ikan Cupang (Betta Sp.) (Anggota)
17.	2016	Hibah Penelitian Desentralisasi PDUPT: Pengaruh Ekstrak Daun Ketapang (Terminalia Catappa Linn.) Terhadap Profil Hematologi Dan Uji Efektivitas Sebagai Hepatoprotektan Serta Antibakteria Pada Budidaya Ikan Cupang (Betta Sp.) (Anggota)

RIWAYAT PUBLIKASI ARTIKEL

Tahun	Judul
2025	Ratna Kusuma, Triana Maya Wulandari, Lariman, Samsurianto, Rudy Agung Nugroho, Hetty Manurung , Retno Aryani, Rudianto. 2025. Evaluating Constraints And Prospects Of Black Soldier Fly Frass For Sustainable <i>Coelogyne Pandurata</i> Acclimatization. Asian Journal Of Agriculture, 9(1): 316-325
2025	R.A Nugroho, R. Aryani, E.H. Hardi, H. Manurung , R. Rudianto, W.N. Jati. 2025. Fermented black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i>) carcass meal as a substrate for its larva. 2025. Nusantara Bioscience 17(1): 49-56
2024	H Manurung, D Susanto, R Kusuma, RA Nugroho, R Aryani, A Setiawan. Allelopathic effects of lai (Durio kutejensis Hassk. Becc) leaf extract, on germination and early growth of weeds and crops. Allelopathy Journal 63 (1): 45-58
2024	RA Nugroho, N Hindryawati, R Aryani, H Manurung , YP Sari, M Nurhadi, et al. 2024. In vivo and in vitro assays using biosynthesized silver nanoparticles on Aeromonas hydrophila-infected Clarias gariepinus. Journal of Applied Aquaculture 36 (1), 170-192, 2024
2024	D Susanto, H Manurung, R Kusuma. Uji Aktivitas Alelopati dan Fitotoksisitas Ekstrak Daun Tabat Barito (Ficus Deltoidea Jack.) terhadap Perkecambahan dan Pertumbuhan

Tahun	Judul
	Gulma Pletekan (<i>Ruellia Tuberosa</i> L.). <i>Jurnal Pro-Life</i> 11 (3), 268-284
2024	RA Nugroho, R Aryani, EH Hardi, H Manurung, R Rudianto, WN Jati. Fermented palm kernel waste with different sugars as substrate for black soldier fly larvae. <i>Global Journal of Environmental Science and Management</i>, 503-516
2023	Hetty Manurung, Imam Rosadi, Dwi Susanto, Muhammad Fauzi Arif, Retno Aryani, Rudy Agung Nugroho. 2023. <u>Antibacterial activity of leaves methanolic extract of Tanikkara (<i>Dillenia excelsa</i> (Jack) Martelli ex Gilg) against <i>Salmonella typhi</i>, <i>Escherichia coli</i>, <i>Staphylococcus aureus</i> and <i>Bacillus cereus</i>. <i>International Journal of Bioscience</i>. 23(3): 185-192.</u>
2023	Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung, Ari Susandi Sanjaya, Didit Suprihanto, et.al. 2023. Budidaya Maggot Di PT Berkah Salama Jaya, Sentral Penggemukan Sapi, Loa Janan Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. <i>Reswara: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat</i> . Vol 4 No 1 Edisi Januari 2023.
2023	Febri Ariyanto, Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung , Rudianto Rudianto. 2023. Effect of water hyacinth leaf flour (<i>Eichhornia crassipes</i>) fermented by <i>Aspergillus niger</i> in the commercial pellet on the growth, survival rate and blood profile of sangkuriang catfish (<i>Clarias gariepinus</i>). <i>Aceh Journal of Animal Science</i> . 8 (2): 53-58. 2023.
2023	Retno Aryani, Rudy Agung Nugroho, Hetty Manurung , Muhammad Hafidz Rulimada, et al. 2023. Anti-angiogenic activity of <i>Ficus deltoidea</i> L. Jack silver nanoparticles using chorioallantoic membrane assay. <i>F1000Research</i> , 24 Mei 2023. https://f1000research.com/articles/12-544 .
2023	Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Esti Handayani Hardi, Hetty Manurung , Rudianto,

Tahun	Judul
	Nadhifa Aurellia Wirawan, Nadya Syalsabillah, Wibowo Nugroho Jati. 2023. Nutritive Value, Material Reduction, Biomass Conversion Rate, And Survival Of Black Solider Fly Larvae Reared On Palm Kernel Meal Supplemented With Fish Pellets And Fructose. International Journal Of Tropical Insect Science, 43: 1243-1254.
2023	Ratna Kusuma, Hetty Manurug , Samsurianto, Lariman, Dwi Susanto. 2023. Pelatihan Budidaya Tanaman dengan Sistem Vertikultur pada Lahan Terbatas Di Jalan Suwandi Kelurahan Gunung Kelua, Samarinda. ABDIKU: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman, 2(1) : 20-26.
2023	Hetty Manurung , Dwi Susanto, Rika Zulia Hapsari. 2023. Uji Kandungan Metabolit Sekunder dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Daun Lai (<i>Durio kutejensis</i> Hassk. Becc.) dengan Metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Edubiologia: Biological Science and Education Journal Vol 2 No 2, July 2023.
2023	Retno Aryani, Rudy Agung Nugroho, Windi Rosiana Dewi, Yanti Puspita Sari, Hetty Manurung , Rudianto. 2023. <u>Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Ikan Patin (<i>Pangasius</i> sp.) Setelah Pemberian Pakan Bersubstitusi Biji Ketapang (<i>Terminalia catappa</i> L.)</u> . Al-Kauniyah Vol 16 No 2 (2023): 222-232.
2023	Retno Aryani, Rudy Agung Nugroho, Hetty Manurung , Ari Susandi Sanjaya, et. al. 2023. Pengenalan Budidaya Maggot Pada Peternak Sapi Di Desa Sumbersari, Loa Kulu Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Abditani: Jurnal Pengabdian Masyarakat Vol 6(2) 144-148.
2023	Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Esti Handayani Hardi, Hetty Manurung , Rudianto. 2023. Nutritional Benefits of Black Soldier Fly Larvae Oil in Animal Feed. Incobest: Proceeding of International Conference on Biology

Tahun	Judul
	Education, Natural Science, and Technology. Vol 1 No 1 (2023).
2022	Hetty Manurung , Dwi Susanto, Eko Kusumawati, Retno Aryani, Rudy A. Nugroho, Ratna Kusuma, Zulfika Rahmawati, Riska D. Sari. 2022. Phytochemical, GC-MS analysis and antioxidant activities of leaf methanolic extract of <i>Lai (Durio kutejensis)</i> , the endemic plant of Kalimantan, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. https://smujo.id/biodiv/article/view/12129/6249 .
2022	Lisdiani, Dwi Susanto, Hetty Manurung . 2022. Phytochemical screening and antioxidant activity of methanol extract of <i>Dillenia excelsa</i> leaf. Biodiversitas, 23(7) July 2022.
2022	Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung , Rudianto. 2022. <i>Myrmecodia pendens</i> Bulb Extract in the Lele Dumbo (<i>Clarias gariepinus</i>) Feed: Effects on the Growth Performance, Survival, and Blood Indices. Journal of Aquaculture and Fish Health Vol. 11(1) - February 2022. 2022.
2022	Hetty Manurung , Imam Rosadi, Ari Susandy Sanjaya, Wulan Iyhyig Ratna Sari, Rudianto, Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Andy Nurcahyono. 2022. Pelatihan Budidaya Maggot Bagi Klaster Sapi Berkah Usaha Bersama, Desa Teluk Pandan Bontang, Kalimantan Timur. Maggot Cultivation Training For Berkah Usaha Bersama Cow Cluster, Teluk Pandan Bontang Village, East Kalimantan. Logista Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat. Vol. 6 No. 2 Tahun 2022: 102-107.
2022	Rudy Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung , Dwi Feby Anindita, Fitria Sari Nur Hidayati, Rudianto Rudianto. 2022. Effects of the Ethanol Extracts of <i>Ficus deltoidea</i> leaves on the Reproductive Parameters in Male Mice. Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences. 2022 Jan 18; 10(A):146-152.

Tahun	Judul
2022	Rudy Agung Nugroho, Noor Hindryawati, Retno Aryani, Hetty Manurung , Yanti Puspita Sari, et al. 2022. In vivo and in vitro assays using biosynthesized silver nanoparticles on <i>Aeromonas hydrophila</i> -infected <i>Clarias gariepinus</i> . Journal of Applied Aquaculture. https://doi.org/10.1080/10454438.2022.2130737 .
2022	Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung , Wulan lyhig Ratna Sari, Ari Susandy Sanjaya, Didit Suprihanto, Rudianto, Widha Prahastika. 2022. Proximate and Fatty Acid Profile Comparison of Black Soldier Fly Larvae Reared on Palm Kernel Meal and Cow Manure. RA Journal Of Applied Research Volume: 08 Issue: 11 November-2022.
2022	Lani Nurfakhira, Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Yanti Puspita Sari, Hetty Manurung , Rudianto Rudianto. 2022. Growth and Digestive Enzyme Activity of <i>Clarias gariepinus</i> Fed <i>Myrmecodia pendens</i> Merr. & Perry Bulb Extract. AIP Conference Proceedings 2668, 020001 (2022); https://doi.org/10.1063/5.0111704 .
2022	Nurlaila Ismah Sardi, Retno Aryani, Rudy Agung Nugroho, Yanti Puspita Sari, Hetty Manurung , Rudianto Rudianto. 2022. Effects of ant-nest plant (<i>Myrmecodia pendens</i>) bulb extract on histology of intestinal, liver and proximate fillet of Sangkuriang catfish (<i>Clarias gariepinus</i> Var). AIP Conference Proceedings 2668, 020002 (2022); https://doi.org/10.1063/5.0111711 .
2022	Retno Aryani, Rudy Agung Nugroho, Hetty Manurung , Nur Ainun Oktavia Pusparini, Widha Prahastika, Rudianto Rudianto. 2022. Subchronic toxicity of <i>Ficus deltoidea</i> jack. leaves on the histology of ventriculus and intestinum tenue male mice. AIP Conference Proceedings 2668, 020005 (2022); https://doi.org/10.1063/5.0111944 .

Tahun	Judul
2021	Rudy Agung Nugroho, Noor Hindryawati, Retno Aryani, Hetty Manurung , Yanti Puspita Sari, et al. 2021. Biosynthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of <i>Myrmecodia pendans</i> bulb. AIP Conference Proceedings 2331, 050014 (2021); https://doi.org/10.1063/5.0041654 . 2021
2021	R A Nugroho, A S Nainggolan, L Lariman, R Aryani, H Manurung , and W N Djati. 2021. Morphometric Analysis and Proximate Nutrition several Commercial Fish Species from Mesangat wetland, Muara Ancalong, Kutai Timur, East Kalimantan, Indonesia. WEAST 2020. Journal of Physics: Conference Series 1899 (2021) 012004 IOP Publishing.
2021	Ingga Lies Dastin, Rudy Agung Nugroho, Nova Hariani, Retno Aryani, Hetty Manurung , Rudianto. 2021. Prevalence, intensity, and dominance of ectoparasites in the gourami (<i>Osphronemus goramy</i> Lacepède, 1801) reared in the floating net cage in Cirata Reservoir, West Java, Indonesia. Aceh Journal of Animal Science (2021) 6 (1): 27-32.
2021	Eko Kusumawati, Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung , Yanti Puspita Sari. 2021. Pembekalan Teknik Ekstraksi, Skrining, dan Uji Antimikrobia Bahan Alam Bagi Guru-Guru SMA di Kota Samarinda . JPM (Jurnal Pemberdayaan Masyarakat) , Vol.6 No.1.
2020	Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung , Rudianto et al. 2020. Acute and Subchronic Toxicity Study of the Ethanol Extracts from <i>Ficus deltoidea</i> Leaves in Male Mice. Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences. 15; 8(A):76-83.
2020	Rahma Suci, Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung , Rudianto. 2020. Evaluasi diet kolin dan metionin terhadap pertumbuhan dan Efisiensi pakan ikan mas (<i>Cyprinus carpio</i>). Indonesian Journal of

Tahun	Judul
	Fisheries Science and Technology. Vol. 16 No. 2 : 97-103,
2020	Retno Aryani , Rudy Agung Nugroho, Hetty Manurung , Rani Mardayanti, et al. 2020. Ficus deltoidea leaves methanol extract promote wound healing activity in mice. EurAsian Journal of BioSciences. 14, 85-91.
2020	Rudy Agung Nugroho, Normala Sari, Retno Aryani, Hetty Manurung , Rudianto Rudianto. 2020. Growth evaluation of Oreochromis niloticus fed different concentrations of choline and methionine. Aceh Journal of Animal Science 5 (2): 122-128.
2020	Rudy Agung Nugroho, Ni Cening Sri Puspa, Retno Aryani, Widha Prahastika, Rudianto, Hetty Manurung . 2020. Subchronic Toxicity Test of Indian Almond (Terminalia catappa) Leaves Water Extract on The Liver Histology of Mice (Mus musculus). BIOEDUSCIENCE, Vol. 4, No. 2, pp. 177-182.
2019	Hetty Manurung , Wawan Kustiawan, Irawan W Kusuma, Marjenah, Rudy Agung Nugroho 2019. Growth, phytochemical profile, and antioxidant activity ofcultivated tabat barito (Ficus deltoidea Jack) under drought stress. International Journal of Biosciences, 2019 14(1): 366-378
2019	Manurung H , Aryani R, Nugrogo RA, Sari YP, Chernovita R, Auliana. 2019. Phytochemical Analysis And Antioxidant Activity Of Leaves Extracts Of Endemic Plant Jahe Balikpapan (Etlingera Balikpapanensis A.D. Poulsen). International Journal of Scientific and Technology Research (IJSTR). 8(9): 308-313
2019	Manurung H , Kustiawan W, Kusuma IW, Marjenah. 2019. Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Pertumbuhan dan Kadar Flavonoid Total Tumbuhan Tabat Barito (Ficus deltoidea Jack). J. Hort. Indonesia.10(1): 55-62.
2019	R Aryani, H Manurung , S Moeljopawiro, L H Nugroho, and P Astuti. The effect of methanol extract of soybean (Glycine max L. Merr.) on rat

Tahun	Judul
	testicular steroid hormones. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1277 012012.
2019	R A Nugroho, D Utami, R Aryani, F M Nur, Y P Sari and H Manurung . 2019. In vivo wound healing activity of ethanolic extract of Terminalia catappa L. leaves in mice (Mus musculus). IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series . 1277 (2019) 012031
2019	Rudy Agung Nugroho, Retno Aryani, Hetty Manurung , Dinda Prameswari. 2019. Wound healing potency of Terminalia catappa in mice (Mus musculus). EurAsian Journal of BioSciences 13, 2337-2342.).
2019	R A Nugroho, R Aryani, W D C Anggraini, E H Hardi, R Rudianto, E Kusumawati, S Sudrajat, F M Nur, H. Manurung . 2019. Dietary Terminalia catappa leaves reduced growth performance but increased hematological profiles and survival rate of Pangasianodon hypophthalmus. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 348 (2019) 012033.

PUBLIKASI BUKU

No	Judul
1.	Biokimia Dasar 2. Qriset Indonesia. Banjarnegara. 143 Hal. (2025)
2.	Biologi Dasar. Penamuda Media. Yogyakarta. 162 Hal.(2024)
3.	Tabat Barito (Ficus deltoidea Jack): Kajian Budidaya, Kandungan Metabolit Sekunder, Bio-Aktivitas, Prospek Fitofarmakologis. Deepublish. Jogyakarta. 147 Hal. (2021)
4.	Maggot dan Lalat Tentara Hitam: Insan Cendikia Mandiri Group. Solok SUMBAR. 55 Hal. (2022)

HAK CIPTA/PATEN

No	Judul
1.	S00202401443. Proses-Distribusi Approval. Metode Pembuatan Ekstrak buah Merkubung (<i>Macaranga gigantea</i>) Sebagai Sumber Antioksidan Alami. (2024)
2.	IDS000004969 Granted. Sediaan Salep Berbahan Ekstrak Etanol 96% Daun Ketapang (<i>Terminalia catappa</i>) Warna Hijau Untuk Penyembuhan Luka Sayat pada Kulit. (2022)
3.	IDS000005276 Granted. Metode Pembuatan Salep Berbahan Dasar Ekstrak Etanol Daun Tabat Barito (<i>Ficus deltoidea</i>) dan Penggunaanya Sebagai Penyembuhan Luka Sayat Kulit. (2022)

RIWAYAT JABATAN

No	Jabatan
1.	Dosen Program Studi S1 Biologi FMIPA Universitas Mulawarman (2000 sd Sekarang)
2.	Sekretaris Jurusan, Program Studi Biologi (2000 sd Sekarang) (2012-2014)
3.	Kepala Laboratorium Fisiologi dan Perkembangan Tumbuhan Program Studi Biologi FMIPA Universitas Mulawarman (2018 sd sekarang)
4.	Dosen Program Studi Magister Biologi (S2) FMIPA Universitas Mulawarman (2023 sd Sekarang)

RIWAYAT ORGANISASI

Tahun	Kegiatan
2003 - Sekarang	Anggota Ikatan Wanita Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman.
2008 - Sekarang	Anggota Ikatan Alumni Biologi FMIPA Universitas Sumatera Utara.
2015- Sekarang	Anggota Masyarakat Biodiversitas Indonesia



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

**Prof. Dr. Ir. H. Dharma Widada, M.T., M.Mu.,
M.K3, IPU, ASEAN Eng., APEC Eng.**

PERAN KINERJA LINGKUNGAN DAN
KETERLIBATAN PEKERJA DALAM PENERAPAN
PRINSIP KEBERLANJUTAN PADA OPERASIONAL
PERUSAHAAN MANUFAKTUR

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



**Prof. Dr. Ir. H. Dharma Widada, M.T., M.Mu.,
M.K3., IPU., ASEAN Eng., APEC Eng.**

KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati, penulis memanjatkan puji dan syukur kepada Allah Subhanallahu Wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat dan karunia yang telah diberikan sehingga naskah orasi ilmiah ini dapat diselesaikan.

Penghargaan dan rasa hormat serta terima kasih yang sebesar-besarnya kami haturkan kepada pimpinan Universitas Mulawarman, atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyampaikan orasi ilmiah yang berisi pandangan kami tentang bagaimana **“Peran Kinerja Lingkungan Dan Keterlibatan Pekerja Dalam Penerapan Prinsip Keberlanjutan Pada Operasional Perusahaan Manufaktur”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa sebagaimana kewajiban untuk menjunjung tinggi tegaknya integritas moral dan etika profesional sivitas akademika dan kukuhnya keserjanaan di lingkungan Universitas Mulawarman. Terbersit harapan kami agar orasi ilmiah ini dapat menjadi sumbangsih kecil dari kami untuk tujuan mulia tersebut.

Semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan, dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Samarinda, 27 September 2025
Dharma Widada

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR..... ii

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI iv

SINOPSIS 1

A. Pendahuluan..... 3

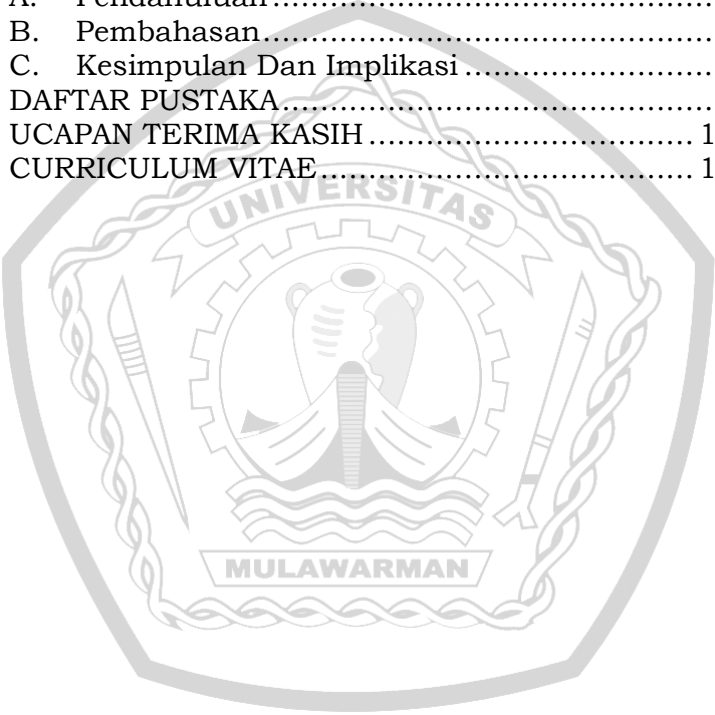
B. Pembahasan..... 5

C. Kesimpulan Dan Implikasi 7

DAFTAR PUSTAKA..... 9

UCAPAN TERIMA KASIH 14

CURRICULUM VITAE..... 17



SINOPSIS

Prof. Dr. Ir. Dharma Widada, M.T., M.Mu., M.K3., IPU, ASEAN Eng., APEC Eng. Mendapatkan Jabatan Akademi sebagai Guru Besar Pertama Universitas Mulawarman dalam bidang Teknik Industri kekhususan Manajemen Industri dan Sistem Lingkungan Berkelanjutan.

Orasi ilmiah ini membahas pengaruh Tata Kelola Perusahaan (Corporate Governance), Green Supply Chain Management (GSCM), Lean Manufacturing, Kebijakan Pemerintah, dan Faktor Teknologi terhadap Kinerja Operasional perusahaan manufaktur di Indonesia, dengan Kinerja Lingkungan sebagai variabel mediasi dan Keterlibatan Pekerja (Worker Involvement) sebagai variabel moderasi. Penelitian ini dilakukan pada 150 perusahaan manufaktur di Indonesia dengan menggunakan metode Structural Equation Modeling Partial Least Squares (SEM-PLS).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kinerja Lingkungan memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan Kinerja Operasional. Faktor Teknologi dan Kebijakan Pemerintah menjadi faktor utama yang meningkatkan Kinerja Lingkungan, sedangkan Corporate Governance tidak menunjukkan pengaruh signifikan. GSCM dan Lean Manufacturing terbukti mampu memperbaiki Kinerja Lingkungan yang kemudian berdampak positif pada kinerja operasional.

Keterlibatan pekerja memiliki dampak langsung terhadap Kinerja Operasional, namun interaksinya dengan Kinerja Lingkungan tidak signifikan. Temuan lain menunjukkan bahwa peran teknologi ramah lingkungan dan kebijakan pemerintah sangat dominan dalam memperkuat kinerja lingkungan dan operasional perusahaan.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap literatur akademik dan praktik bisnis terkait strategi pencapaian sustainability (keberlanjutan) dalam operasional perusahaan

manufaktur di Indonesia. Penelitian ini menegaskan bahwa teknologi hijau, kebijakan pemerintah yang mendukung, serta penerapan lean dan GSCM adalah kunci utama dalam mendorong kinerja lingkungan dan operasional yang lebih baik.

Penelitian ini juga menyarankan perlunya penguatan peran Corporate Governance agar lebih proaktif dalam aspek lingkungan, serta pentingnya membangun budaya organisasi yang melibatkan karyawan dalam seluruh proses pengambilan keputusan terkait sustainability.

Implikasi praktis dari penelitian ini adalah perlunya perusahaan memperkuat adopsi teknologi hijau, meningkatkan keterlibatan karyawan dalam program sustainability, serta memanfaatkan kebijakan dan insentif pemerintah untuk mendorong efisiensi operasional dan keberlanjutan. Penelitian ini menyoroti pentingnya integrasi antara strategi perusahaan, teknologi, dan partisipasi aktif pekerja dalam mencapai kinerja operasional yang berkelanjutan.

Sebagai penutup, penelitian ini menyoroti bahwa keberhasilan dalam meningkatkan kinerja operasional yang berkelanjutan tidak hanya bergantung pada faktor teknologi dan kebijakan, tetapi juga pada sinergi antara strategi perusahaan dan partisipasi aktif seluruh elemen organisasi.

A. Pendahuluan

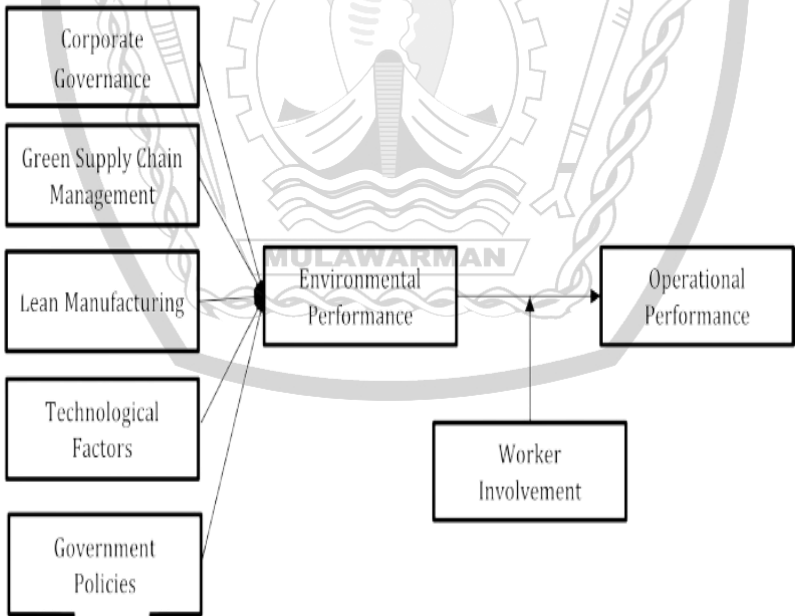
Latar belakang penelitian ini adalah pentingnya penerapan prinsip keberlanjutan dalam operasional perusahaan, khususnya di sektor manufaktur yang memiliki dampak lingkungan signifikan. Dalam konteks ini, perusahaan dituntut untuk meningkatkan efisiensi operasional sekaligus memperhatikan aspek lingkungan.

Isu keberlanjutan menjadi perhatian utama dalam pengelolaan bisnis modern. Perusahaan manufaktur di Indonesia menghadapi tekanan global untuk meningkatkan kinerja operasional yang tidak hanya fokus pada efisiensi, tetapi juga tanggung jawab lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara *Corporate Governance*, *Green Supply Chain Management (GSCM)*, *Lean Manufacturing*, Kebijakan Pemerintah, dan Faktor Teknologi terhadap Kinerja Operasional. Fokus utama penelitian ini adalah peran Kinerja Lingkungan sebagai variabel mediasi dan Keterlibatan Pekerja (*Worker Involvement*) sebagai variabel moderasi dalam hubungan tersebut. Penelitian ini mengisi gap penelitian sebelumnya yang belum banyak mengkaji integrasi lima faktor utama tersebut secara simultan di Indonesia, terutama dalam konteks manufaktur.

Penelitian ini didasarkan pada teori *Triple Bottom Line* dan *Natural Resource-Based View (NRBV)*, yang menekankan pentingnya integrasi aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam pengelolaan perusahaan, dengan desain penelitian kuantitatif, menggunakan pendekatan *Structural Equation Modeling Partial Least Squares (SEM-PLS)*. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain penelitian eksplanatori. Data dikumpulkan dari 150 perusahaan manufaktur di Indonesia yang sudah menerapkan praktik keberlanjutan dan teknologi ramah lingkungan, melalui kuesioner yang ditujukan kepada manajer atau staf yang memahami kebijakan

keberlanjutan di perusahaan. Instrumen pengumpulan data berupa kuesioner dengan skala Likert 5 poin. Analisis data dilakukan dengan metode SEM-PLS. Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel independen (*Corporate Governance*, *GSCM*, *Lean Manufacturing*, Teknologi, dan Kebijakan Pemerintah), variabel mediasi (*Kinerja Lingkungan*), variabel moderasi (*Worker Involvement*), dan variabel dependen (*Kinerja Operasional*).

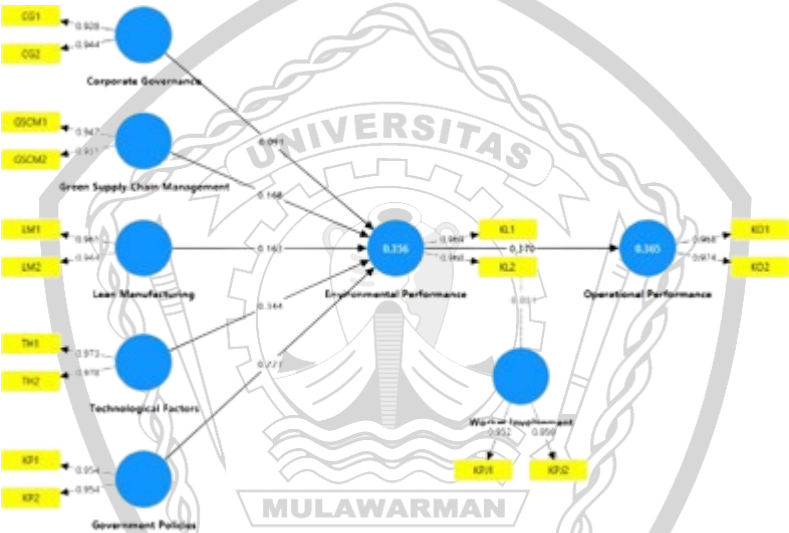
Kerangka Konseptual yang disajikan dalam Gambar 1, penelitian ini menghubungkan lima variabel independen (X1 hingga X5), satu variabel mediasi (Z), satu variabel moderasi (M), dan satu variabel dependen (Y). Selain itu, studi ini juga memuat Hipotesis Penelitian, meliputi pengaruh langsung, tidak langsung (mediasi), dan moderasi antara variabel-variabel tersebut.



Gambar 1. Kerangka Koseptual

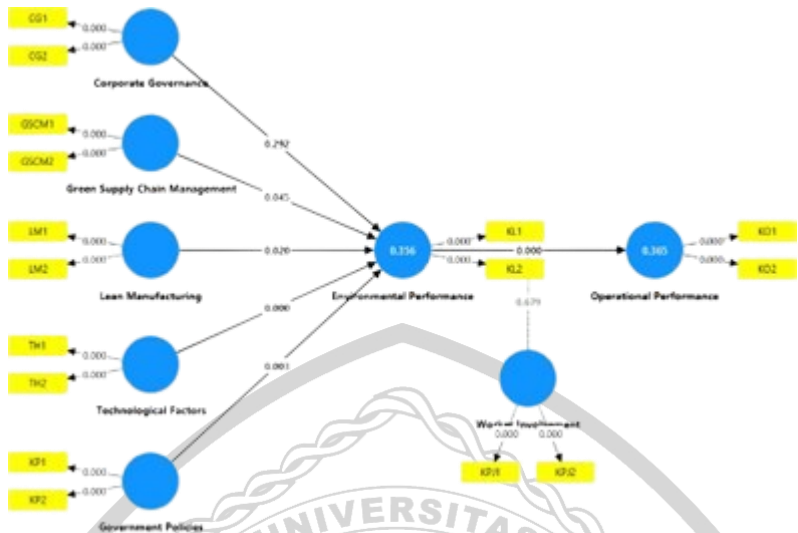
B. Pembahasan

Hasil uji validitas dan reliabilitas menunjukkan semua instrumen memenuhi standar validitas dan reliabilitas. Nilai Composite Reliability dan Cronbach Alpha seluruh variabel di atas 0,7, dengan AVE di atas 0,5. Pada Gambar 2 menjelaskan nilai outer loading yang dimiliki oleh variabel-variabel dalam penelitian, dimana semua nilai outer loading memenuhi kriteria validitas karena melebihi 0,7.



Gambar 2. Model Penelitian Outer

Analisis Structural Model menghasilkan nilai R-Square sebesar 0,356 untuk Kinerja Lingkungan dan 0,365 untuk Kinerja Operasional. Gambar 3 menunjukkan evaluasi hubungan yang dihipotesiskan antara konstruk laten merupakan inti dari penilaian inner model. Nilai adjusted R-square yang cukup dekat mengindikasikan model yang stabil dan layak digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. Model Penelitian Inner

Hipotesis yang diuji meliputi pengaruh langsung dan tidak langsung dari masing-masing variabel. Hasilnya menunjukkan bahwa Teknologi dan Kebijakan Pemerintah memiliki pengaruh signifikan terhadap Kinerja Lingkungan, yang kemudian berdampak pada Kinerja Operasional. Sementara itu, Corporate Governance tidak berpengaruh signifikan terhadap Kinerja Lingkungan.

Tabel 1. Pengujian Hipotesis

	Sampel Asli (O)	Statistik t (O/STDEV)	Nilai P
Tata Kelola Perusahaan -> Kinerja Lingkungan	-0.091	1.055	0.292
Kinerja Lingkungan -> Kinerja Operasional	0.370	3.891	0.000
Kebijakan Pemerintah -> Kinerja Lingkungan	0.227	2.939	0.003
Manajemen Rantai Pasokan Hijau -> Kinerja Lingkungan	0.168	2.006	0.045
Lean Manufacturing -> Kinerja Lingkungan	0.163	2.335	0.020
Faktor Teknologi -> Kinerja Lingkungan	0.344	4.290	0.000
Keterlibatan Pekerja -> Kinerja Operasional	0.267	2.980	0.003
Keterlibatan Pekerja x Kinerja Lingkungan -> Kinerja Operasional	-0.031	0.414	0.679
Tata Kelola Perusahaan -> Kinerja Lingkungan -> Kinerja Operasional	-0.034	0.987	0.324
Kebijakan Pemerintah -> Kinerja Lingkungan -> Kinerja Operasional	0.084	2.318	0.020
Manajemen Rantai Pasokan Hijau -> Kinerja Lingkungan -> Kinerja Operasional	0.062	1.743	0.081
Lean Manufacturing -> Kinerja Lingkungan -> Kinerja Operasional	0.060	1.988	0.047
Faktor Teknologi -> Kinerja Lingkungan -> Kinerja Operasional	0.127	2.627	0.009

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kinerja Lingkungan memiliki pengaruh signifikan terhadap Kinerja Operasional. Faktor Teknologi dan Kebijakan Pemerintah merupakan faktor utama dalam peningkatan Kinerja Lingkungan. Sementara itu, Corporate Governance tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap Kinerja Lingkungan. Kinerja Lingkungan memediasi hubungan antara Teknologi, Lean Manufacturing, dan Kebijakan Pemerintah terhadap Kinerja Operasional.

GSCM dan Lean Manufacturing terbukti memberikan pengaruh positif terhadap Kinerja Lingkungan yang pada akhirnya berdampak positif pada Kinerja Operasional. Keterlibatan pekerja juga memiliki pengaruh langsung terhadap Kinerja Operasional, namun interaksinya dengan Kinerja Lingkungan tidak signifikan.

Pada pembahasan menunjukkan bahwa implementasi teknologi ramah lingkungan seperti renewable energy, IoT-based monitoring, dan sistem lean berkontribusi besar terhadap peningkatan efisiensi dan pengurangan dampak lingkungan. Peran pemerintah melalui regulasi dan insentif juga menjadi faktor kunci.

C. Kesimpulan Dan Implikasi

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan Kinerja Operasional dapat dicapai melalui penguatan Kinerja Lingkungan, yang dipengaruhi oleh Teknologi, Kebijakan Pemerintah, GSCM, dan Lean Manufacturing. Corporate Governance belum terbukti signifikan terhadap Kinerja Lingkungan dalam studi ini.

Penelitian ini mengkonfirmasi bahwa:

1. Faktor Teknologi dan Kebijakan Pemerintah memiliki pengaruh paling kuat terhadap Kinerja Lingkungan.

2. Corporate Governance tidak memiliki pengaruh signifikan.
3. Keterlibatan Pekerja berpengaruh langsung terhadap Kinerja Operasional, tetapi tidak memperkuat pengaruh Kinerja Lingkungan.

Temuan ini konsisten dengan teori TBL dan NRBV, yang menekankan pentingnya inovasi teknologi, efisiensi proses, serta dukungan regulasi dalam meningkatkan keberlanjutan dan operasional perusahaan.

Implikasi dari penelitian ini adalah perlunya perusahaan memperkuat penerapan teknologi ramah lingkungan, meningkatkan keterlibatan pekerja dalam kebijakan keberlanjutan, serta memanfaatkan insentif dan regulasi pemerintah untuk mendorong efisiensi dan keberlanjutan operasional.

Adapun untuk implikasi praktis meliputi:

1. Mendorong investasi perusahaan dalam teknologi ramah lingkungan (mengadopsi teknologi hijau).
2. Memperkuat implementasi GSCM dan Lean Manufacturing untuk efisiensi operasional.
3. Mengintegrasikan kebijakan pemerintah dalam strategi keberlanjutan perusahaan.
4. Meningkatkan keterlibatan pekerja dalam program-program keberlanjutan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam lingkup sampel dan waktu penelitian. Direkomendasikan penelitian lebih lanjut dengan desain longitudinal dan memperluas ke sektor industri lain serta mengkaji lebih dalam peran moderasi keterlibatan pekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Abualfaraa, W., Salonitis, K., Al-Ashaab, A., & Ala'raj, M. (2020). Lean-green manufacturing practices and their link with sustainability: A critical review. *Sustainability* (Switzerland), 12 (3), 981. <https://doi.org/10.3390/su12030981>
- Asha, L.N., Dey, A., Yodo, N., & Aragon, L.G. (2022). Optimization Approaches for Multiple Conflicting Objectives in Sustainable Green Supply Chain Management. *Sustainability* (Switzerland), 14 (19), 12790. <https://doi.org/10.3390/su141912790>
- Awan, F.H., Dunnan, L., Jamil, K., Mustafa, S., Atif, M., Gul, R.F., & Guangyu, Q. (2022). Mediating Role of Green Supply Chain Management Between Lean Manufacturing Practices and Sustainable Performance. *Frontiers in Psychology*, 12 (8), 810504. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.810504>
- Bag, S., Gupta, S., Kumar, S., & Sivarajah, U. (2020). Role of technological dimensions of green supply chain management practices on firm performance. *Journal of Enterprise Information Management*, 34 (1), 1-27. <https://doi.org/10.1108/JEIM-10-2019-0324>
- Bakar, M.F.A., Talukder, M., Quazi, A., & Khan, I. (2020). Adoption of sustainable technology in the Malaysian SMEs sector: Does the role of government matter? *Information* (Switzerland), 11 (4), 215. <https://doi.org/10.3390/INFO11040215>
- Bilal, A., Li, X., Zhu, N., Sharma, R., & Jahanger, A. (2022). Green technology innovation, globalization, and CO₂ emissions: Recent insights from the OBOR economy. *Sustainability* (Switzerland), 14 (1), 236. <https://doi.org/10.3390/su14010236>
- Chen, P. K., Lujan-Blanco, I., Fortuny-Santos, J., & Ruiz-De-arbulo-lópez, P. (2020). Lean manufacturing and environmental sustainability: The effects of employee involvement, stakeholder pressure and iso 14001. *Sustainability* (Switzerland), 12 (18), 7258. <https://doi.org/10.3390/su12187258>
- Dahri, M. (2017). Types of variables and measurement scales, differences between descriptive and inferential statistics. *Ejournal Preprints*.

- Elemure, I., Dhakal, H. N., Leseure, M., & Radulovic, J. (2023). Integration of Lean Green and Sustainability in Manufacturing: A Review on Current State and Future Perspectives. *Sustainability (Switzerland)*, 15 (13), 10261. <https://doi.org/10.3390/su151310261>
- Elrayah, M., & Keong, O.C. (2023). Moderating Effect of Green Technology Adoption on the Relationship of Sustainable Operations Practices and Sustainable Operational Performance. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 6 (3). <https://doi.org/10.31181/oresta/060308>
- Enciso-Alfaro, S.Y., & Garcia-Sánchez, I.M. (2023). Corporate governance and environmental sustainability: Addressing the dual theme from a bibliometric approach. In *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. <https://doi.org/10.1002/csr.2403>
- Guo, M., Nowakowska-Grunt, J., Gorbanyov, V., & Egorova, M. (2020). Green technology and sustainable development: Assessment and green growth frameworks. *Sustainability (Switzerland)*, 12 (16), 6571. <https://doi.org/10.3390/su12166571>
- Hair, J.F., Hult, G.T., Ringle, C. ., & Sarstedt, M. (2019). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Second Edition. A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Second Edition (2 ed.)*. In Sage
- Ilyas, S., Hu, Z., & Wiwattanakornwong, K. (2020). Unleashing the role of top management and government support in green supply chain management and sustainable development goals. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (8), 8210–8223. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07268-3>
- Kaydos, W. J. (2020). *Operational Performance Measurement: Increasing Total Productivity*. In Library. CRC Press.
- Khan, SAR, Yu, Z., Golpira, H., Sharif, A., & Mardani, A. (2021). A state-of-the-art review and meta-analysis on sustainable supply chain management: Future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 278 (1), 123357. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123357>
- Kraft, M. E., & Furlong, S. R. (2020). *Public Policy: Politics, Analysis, and Alternatives*. CQ Press.
- Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R., & Choubey, V. K. (2022). *Lean manufacturing*

- techniques and their implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 64 (2), 1188–1192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>
- Kumar Shetty, S., & Subrahmanya Bhat, K. (2022). Green supply chain management practices implementation and sustainability -A review. *Materials Today: Proceedings*, 52 (7), 735–740. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.135>
- Lexic, I., Stefanic, N., & Veza, I. (2020). The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering And Management*, 15 (1), 23–41. <https://doi.org/10.14743/APEM2020.1.351>
- Li, Y., Dai, J., & Cui, L. (2020). The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model. *International Journal of Production Economics*, 229 (1), 107777. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107777>
- Naciti, V., Cesaroni, F., & Pulejo, L. (2022). Corporate governance and sustainability: a review of the existing literature. *Journal of Management and Governance*, 34 (6), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10997-020-09554-6>
- Neirotti, P. (2020). Work intensification and employee involvement in lean production: new light on a classic dilemma. *International Journal of Human Resource Management*, 31 (15), 1958–1983. <https://doi.org/10.1080/09585192.2018.1424016>
- Nogueira, E., Gomes, S., & Lopes, J. M. (2023). Triple Bottom Line, Sustainability, and Economic Development: What Binds Them Together? A Bibliometric Approach. *Sustainability (Switzerland)*, 15 (8), 6706. <https://doi.org/10.3390/su15086706>
- Önder, Ş., & Baimurzin, R. (2020). Effect of Corporate Governance on Sustainability Disclosures: Evidence from Turkey. *Indonesian Journal of Sustainability Accounting and Management*, 4 (1), 93 – 102. <https://doi.org/10.28992/ijssam.v4i1.207>
- Palange, A., & Dhattrak, P. (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46 (6), 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>
- Pinto, L. (2020). Green supply chain practices and company performance in Portuguese manufacturing sector.

- Business Strategy and the Environment, 29 (5), 1832–1849. <https://doi.org/10.1002/bse.2471>
- Rehman, S.U., Kraus, S., Shah, S.A., Khanin, D., & Mahto, R.V. (2021). Analyzing the relationship between green innovation and environmental performance in large manufacturing firms. *Technological Forecasting and Social Change*, 163 (2), 120481. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120481>
- Samad, S., Nilashi, M., Almulihi, A., Alrizq, M., Alghamdi, A., Mohd, S., Ahmadi, H., & Syed Azhar, SNF (2021). Green Supply Chain Management practices and impact on firm performance: The moderating effect of collaborative capability. *Technology in Society*, 67 (3), 101766. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101766>
- Silva, G.M., & Gomes, P.J. (2023). Lean production, green supply chain management and environmental performance: a configurational perspective based on the Portuguese context. *International Journal of Lean Six Sigma*, 16 (2), 518–541. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2023-0036>
- Singh, J., Singh, H., & Kumar, A. (2020). Impact of lean practices on organizational sustainability through green supply chain management – an empirical investigation. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11 (6), 1035–1068. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2017-0068>
- Tandoh, I., Duffour, K.A., Essandoh, M., & Amoako, R.N. (2022). Corporate governance, corporate social responsibility, and corporate sustainability: The moderating role of top management commitment. *International Journal of Professional Business Review*, 7 (2), 10–32. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2022.v7i2.309>
- Tjahjadi, B., Soewarno, N., & Mustikaningtiyas, F. (2021). Good corporate governance and corporate sustainability performance in Indonesia: A triple bottom line approach. *Heliyon*, 7 (3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06453>
- Torres, B., Naghshineh, B., Cardeal, G., Filipe, D., Carvalho, H., Peças, P., & Ribeiro, I. (2020). The Impacts of Additive Manufacturing Technology on Lean/Green Supply Chain Management Practices. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 6 (1), 159–168. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41429-0_16

- Usman, M., Rofcanin, Y., Ali, M., Ogbonnaya, C., & Babalola, M.T. (2023). Toward a more sustainable environment: Understanding why and when green training promotes employees' eco-friendly behaviors outside of work. *Human Resource Management*, 62 (3), 355–371. <https://doi.org/10.1002/hrm.22148>
- Wang, P., Dong, C., Chen, N., Qi, M., Yang, S., Nnenna, A. B., & Li, W. (2021). Environmental regulation, government subsidies, and green technology innovation—a provincial panel data analysis from china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (22), 11991. <https://doi.org/10.3390/ijerph182211991>



UCAPAN TERIMA KASIH

Sesungguhnya segala puji hanya kepada Allah semata-Robbul izzati, atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga saya mendapatkan kemudahan dan kelancaran dalam proses pencapaian amanah karir akademik Guru Besar ini. Perkenankan saya untuk menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan kepada rekan sejawat, alumni, mahasiswa, guru-guru, dan keluarga yang saya hormati, banggakan, dan cintai yang telah membantu, memberikan semangat, dan motivasi pada sepanjang proses pencapaian karier akademik saya.

Terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan Tinggi, Sain dan Teknologi Republik Indonesia atas amanah jabatan fungsional Guru Besar dalam bidang ilmu Manajemen Industri dan Sistem Lingkungan Berkelanjutan mulai tanggal 29 Mei 2025. Kepada Rektor Bapak Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU, ASEAN Eng., dan para Wakil Rektor Universitas Mulawarman; Senat Universitas Mulawarman; Tim penilai angka kredit (PAK) Universitas Mulawarman; rekan-rekan di bagian Kepegawaian terima kasih atas dukungan dan bantuan selama proses kenaikan jabatan fungsional ini.

Penghargaan yang sama dan terima kasih juga saya sampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik Bapak Prof. Dr. Ir. H. Tamrin Rahman, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng., APEC Eng., dan para Wakil Dekan, Senat Fakultas, dan Koordinator Program Studi Teknik Industri serta para tenaga kependidikan di Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman. Ucapan yang sama juga saya tujukan kepada seluruh rekan-rekan sejawat dosen atas bantuan dan kerjasamanya.

Saya berterima kasih kepada Dosen Pembimbing Skripsi saya Bapak Dr. Ir. I Made Gunadiarta, M.Sc., dan Dosen Pembimbing Tesis saya Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Sayoga Gautama Benggolo, IPM dan Bapak Dr.

Ir. Herman Rahadian Soetisna, DEA, serta Promotor dan Co promotor Disertasi saya Bapak Prof. Dr. Ir. H. Abubakar M Lahjie (alm), Bapak Prof. Dr. H. Zamrudin Hasid (alm), dan Bapak Prof. Dr. Ir. BDAS Simarangkir, M.Sc., yang telah berbagi ilmu, menjadi inspirasi serta memberikan arahan dan motivasi kepada saya, tanpa campur tangan bapak saya tidak mungkin berdiri di mimbar yang sangat berbahagia ini. Entah kebetulan atau tidak, semua Pembimbing dalam menyelesaikan studi saya mulai dari skripsi, thesis sampai doktor, beliau semua pernah mendoakan saya untuk dapat menjadi guru besar, hal itu menjadi motivasi bagi saya.

Ungkapan terima kasih tentunya tidak akan cukup untuk guru-guru saya mulai TK, SD, SMP dan SMA, serta guru-guru saya selama menempuh pendidikan tinggi atas ilmu pengetahuan yang telah berikan.

Saya sangat bersyukur dan beruntung memiliki orang tua yaitu (Alm.) Bapak Hasjim Achmad dan (Alm.) Ibu Rustinah serta (Alm.) Ibu Suarjiati yang penuh pengertian, selalu mencurahkan kasih sayang, dan tak hentinya doa beliau senantiasa mengiringi langkah saya dan keluarga. Beliau semua juga sebagai seorang Guru adalah teladan dan panutan bagi saya yang menjalani hidup dengan penuh kedisiplinan. Semua pencapaian karir akademik ini khusus saya persembahkan untuk orang tua saya, yang juga untuk meneruskan amanah sebagai Guru. Tanpa jerih payah dan perjuangan dalam membesarkan saya serta iringan doa yang diberikan semua ini tidak akan pernah saya capai. Teriring doa saya panjatkan kepada Allah Subhanallahu Wa Ta'ala semoga amal ibadah beliau semua diterima Allah SWT.

Capaian jabatan akademik tertinggi ini juga tidak terlepas dari doa dan dukungan adik-adik saya, (Alm.) Dharma Aviva, Dhina Sartika dan Dhina Mustika Sari serta semua kakak dan adik ipar serta keponakan, semoga Allah Subhanahu wa Ta'ala membalasnya dengan ganjaran yang berlipat.

Kepada bapak mertua (Alm.) Kunan Dulamak teriring doa saya panjatkan kepada Allah Subhanallahu Wa Ta'ala semoga amal ibadah beliau diterima di sisi-Nya. Dan terima kasih yang tulus dan setinggi-tingginya kepada ibu mertua, Ibu Masturo yang telah mengiringi saya selama ini dengan restu dan doa-doanya.

Teristimewa, saya merasa bersyukur dan beruntung telah dipertemukan dengan istri saya, Masayu Widiastuti, karena tanpa iringan doa, restu, dan kasih sayang beliau saya tidak mungkin dapat melangkah sejauh ini. Beliau memiliki banyak peran di dalam hidup saya, sebagai rekan kerja, dan sahabat yang berjuang bersama, serta pendukung utama atas pencapaian karir akademik saya. Saya ucapkan terima kasih atas kesabaran, pengertian, dukungan, kerjasama, dan kesempatan yang diberikan kepada saya untuk terus mengembangkan diri dan berkarya semua untuk keluarga. Banyak cinta dan kasih sayang yang beliau curahkan untuk saya dan kedua putra-putri kami: dr. Mahfudhah Iklil Khairunnisa dan dr. Muhammad Dhawinanda Hanif Azhar. Mereka yang menjadi penyemangat, penguat, dan membuat hidup lebih berwarna. Terima kasih atas semua pengertian, kesabaran, dan keceriaannya. Semoga mereka menjadi putra-putri yang sholeh-sholehah, berbahagia, dan beruntung serta bermanfaat bagi diri sendiri, orang lain, dan agama. Aamiin Ya Rabbal Alamin.

Demikian ungkapan rasa syukur dan terima kasih atas amanah karir jabatan fungsional Guru Besar saya. Semoga Allah Subhanahu wa ta'ala memberikan kemudahan, kekuatan, dan keselamatan dalam menjalankan tugas sebagai dosen dan peneliti, serta ilmu yang diperoleh dapat bermanfaat bagi masyarakat dan menjadi inspirasi dan motivasi untuk orang lain. Aamiin Ya Rabbal Alamin.

CURRICULUM VITAE

Nama : Dharma Widada
NIP : 196907061995121004
NIDN : 0006076901
Tempat, Tanggal
Lahir : Samarinda, 6 Juli 1969
Agama : Islam
Email :
No HP : +62 878-2199-0226
Fakultas : Teknik
Pangkat, Gol. : Pembina Utama Muda/ IVc
ID SINTA : 6817892
ID SCOPUS : 57225080572

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Strata Satu (S1) Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional
2. Magister Teknik (S2) Kekhususan Manajemen Sumber Daya Bumi, Institut Teknologi Bandung
3. Doktor (S3) Kekhususan Ekonomi dan Lingkungan, Universitas Mulawarman
4. Profesi Insinyur (Ir.) Program Profesi Insinyur Universitas Mulawarman

RIWAYAT PEKERJAAN

1. Ketua Program Diploma III Teknik Pertambangan, 1999-2003
2. Ketua UP. Fakultas Teknik, 2003-2008
3. Dekan Fakultas Teknik, 2008-2016
4. Kepala Laboratorium Rekayasa Mesin dan Workshop, 2008-2024
5. Kepala Pusat Penelitian Lingkungan Hidup dan Sumber Daya Alam, 2016-2024
6. Ketua Komisi Pengawas Reklamasi dan Pasca Tambang, 2016-2018

7. Reviewer Nasional Beasiswa LPDP, 2013-2018
8. Koordinator Bidang Pengembangan Teknologi, Tim Pengembangan Sumber Daya Manusia Provinsi Kalimantan Timur
9. Tim RPJMD Provinsi Kalimantan Timur
10. Anggota Senat UNMUL, 2003-2023
11. Dosen Tetap (PNS) Fakultas Teknik Universitas Mulawarman, 1995 – sekarang

PUBLIKASI INTERNASIONAL

1. The Roles of Social Forest Navigation and Community Engagement in Achieving Successful Forest Reclamation and Empowered Ecosystems
2. Temperature and humidity control system for broiler chicken coops
3. The Ergonomic Risk Evaluation of Work Posture for Oil Palm Harvest Workers in Large Plantations in East Kalimantan using SNI 9011: 2021
4. Quality Analysis of Digital Service Virtual Plasa Witel Samarinda Using e-Servqual Method
5. Marketing strategy of roti X product during the Covid-19 pandemic
6. Design and Development of a Coconut Peeling Machine Using Value Engineering, Multicriteria, and Ergonomic Factor
7. Design and Development of Pineapple Peeling Machine with Quality Function Deployment (QFD) and Value Engineering
8. Identification of Occupational Safety and Health (OSH) Risk Factors in Cargo Handling Processes at PT. PELINDO 4 Branch Samarinda Using the Hazard Analysis and Operability Study (HAZOP) Method
9. Measuring Mental Workload Of PT. Muara Kembang Shipyard Employees Using The Nasa-Task Load Index Method
10. Implementation of Objective Matrix and Root Cause Analysis for Productivity Analysis

11. Assessing Healthcare Service Quality with HEALTHQUAL Method and IPA
12. Quality Analysis of Digital Service Virtual Plasa Witel Samarinda Using e-Servqual Method
13. Environmental Economic Analisis For The Post-Mining Forest Reclamation in the Framework of the Sustainable Use of Natural Resources

PUBLIKASI NASIONAL

1. Pemanfaatan dan Pengelolaan Sumberdaya Energi Untuk Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia
2. Konsep Teknologi Penambangan Batubara Yang Berwawasan Lingkungan
3. Analisis Risiko Keselamatan Kerja Pada Pekerja Layanan Teknik ROW (*Right of Way*) Menggunakan Metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)* dan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* Pada PT PLN Area Berau, Kalimantan Timur
4. Penerapan Teori Antrean pada Antrean Mekanik saat Pengambilan Spare Part di Warehouse PT Widya Sapta Contractor
5. Penerapan Metode Kansei pada Perancangan Mebel Fasilitas Belajar
6. Analisis Pengendalian Kualitas Batik Cap Menggunakan Metode Six Sigma dan Kaizen
7. Pengukuran Tingkat Kepuasan Pelanggan Terhadap Jasa Pelayanan Dengan Metode Servqual dan *Customer Satisfaction Index (CSI)*
8. Analisis pengaruh kualitas pelayanan jasa terhadap kepuasan pelanggan menggunakan metode logistic service quality
9. Analisis Risiko K3 pada Bongkar Muat di Pelabuhan dengan Metode *HAZOP (Hazard Analysis and Operability Study)*
10. Analisis Hubungan Beban Kerja Mental Dan Fisik Terhadap Kelelahan Kerja Pada Perawat

11. Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Menggunakan Metode Hazop pada Bengkel Tejo Steel
12. Analisis Pengembangan Strategi Mitigasi Pada Risiko Rantai Pasok Kayu Log
13. Perancangan dan Pengukuran Kinerja Rantai Pasok Industri Amplang
14. Optimasi Jumlah Alat Berat dengan Metode Integer Linier Programming pada Pekerjaan Penanganan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Bukit Pinang Kota Samarinda
15. Analisis Beban Kerja Mental Karyawan Menggunakan Metode Nasa-Task Load Index
16. Analisis Pengaruh Kualitas Sistem Online Single Submission (OSS) dan Kepuasan Kerja terhadap Kinerja Pegawai
17. Analisis Strategi Pemasaran Produk Air Minum Dalam Kemasan Merk Amula Dengan Metode Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM)
18. Analisis Pemilihan Supplier Bahan Baku Roti dengan Metode ANP (*Analytic Network Process*) dan *Rating Scale*
19. Analisis risiko dan penentuan strategi mitigasi pada proses produksi beras
20. Perancangan Kemasan Kerupuk Ikan Dengan Menggunakan Metode Kansei Engineering
21. Analisis strategi pemasaran klinik Universitas Mulawarman menggunakan metode quantitative strategic planning matrix (QSPM)
22. Analisis Strategi Pemasaran Menggunakan Metode Quantitative Strategic Planning Matrik (QSPM)
23. Perancangan Alat Bantu Kerja Berdasarkan Analisis Postur Kerja Menggunakan Metode *Rapid Entire Body Assessment (REBA)* Pada Industri Aluminium
24. Analisis Pengembangan Strategi Mitigasi Pada Risiko Rantai Pasok Kayu Log
25. Pengembangan Strategi Mitigasi Risiko Rantai Pasok Produk Avtur

KARYA BUKU

1. Material Teknik, Penerbit Binar Media Pratama
2. Manajemen Lingkungan, Penerbit Samudra Solusi Profesional
3. Pengetahuan Lingkungan, Penerbit Felomedia
4. Manajemen Produk Bersih, Penerbit Mitra Edukasi Negeri
5. Kesehatan, Keselamatan, Keamanan Kerja dan Lingkungan, Penerbit Samudra Solusi Profesional
6. Bunga Rampai Kaltim Green: Pengembangan Sustainable Village, Penerbit Mulawarman University Press
7. Strategi Bisnis Roti: Memenangkan Pasar dengan Inovasi dan Perencanaan Matang, Penerbit Mega Press Nusantara
8. Manajemen Kualitas Pelayanan Digital: Pendekatan e-Servqual Untuk Kesuksesan Bisnis, Penerbit Mega Press Nusantara

HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

1. Korosi dan Rekayasa Permukaan
2. Pengendalian Banjir
3. Aplikasi *Green Manufacturing*
4. *Green Design*
5. *Non Destructive Testing (NDT)*
6. Konsep *Green Manufacturing*
7. Pembuatan *Eco Enzyme*
8. Cacat Dalam Padatan
9. Pencemaran Tanah
10. Pencemaran Air
11. Pencemaran Udara
12. Peralatan Kerja Bengkel
13. Jenis dan Fungsi Alat Pelindung Diri (APD) Bidang Industri
14. Jenis dan Fungsi Alat Pelindung Diri (APD) Pada Proyek Konstruksi



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Soerja Koesnarpadi, S.Si, M.Si.

MATERIAL NANO BERBASIS OKSIDA BESI :
MODIFIKASI DAN APLIKASI BIDANG LINGKUNGAN
DAN KESEHATAN

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Soerja Koesnarpadi, S.Si, M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Material Nano	3
B. Material Nano Berbasis Oksida besi (Fe_3O_4) .	4
C. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Asam Humat dan Aplikasinya untuk Mendegradasi Fenol	7
D. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Arang Aktif dan Aplikasinya sebagai Adsorben Logam Berat.....	10
E. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Ag/ WO_3 dan Aplikasinya untuk Sonokatalisis zat warna	12
F. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Kitosan dan Aplikasinya sebagai Antibakteri dan Penghantaran Obat.....	14
G. Tantangan dan Peluang Penggunaan Material Nano Berbasis Oksida Besi.....	19
H. Kesimpulan	19
UCAPAN TERIMA KASIH	25
CURRICULUM VITAE.....	27

SINOPSIS

Material nano adalah suatu bahan yang merujuk pada dimensi ukuran 1 – 100 nm. Material ini memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda signifikan dengan material yang sama pada ukuran makroskopis. Saat ini, penggunaan material nano berkembang pesat seiring dengan pesatnya teknologi nano diberbagai bidang kehidupan sehari-hari. Pembuatan material nano dapat dilakukan melalui 2 pendekatan yakni metode *Bottom-up* (membentuk ukuran nano dari atom/larutan) dan *Top-Down* (mengubah ukuran makro menjadi nano). Pemilihan metode bergantung pada aplikasi yang diinginkan atau sifat nanomaterial yang dibutuhkan. Salah satu jenis material nano yang *trend* digunakan saat ini adalah material nano berbasis oksida besi, khususnya magnetit (Fe_3O_4).

Material nano Fe_3O_4 adalah material non toksik bersifat biodegradabel dan biokompatibel yang sering digunakan untuk pengembangan material maju dalam dunia industri, kesehatan dan lingkungan. Contohnya dalam dunia industri digunakan untuk pelapisan protektif dan sensitif, dalam bidang kesehatan dimanfaatkan sebagai *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dan pengobatan kanker serta dalam bidang lingkungan untuk *recovery* logam berat dan polutan organik. Namun Fe_3O_4 memiliki kelemahan tidak stabil dan mudah mengalami aglomerasi sehingga perlu dimodifikasi dengan penambahan senyawa organik atau anorganik untuk mengurangi sensitivitas material nano Fe_3O_4 tersebut agar lebih atraktif dan stabil serta menurunkan proses aglomerasi

Proteksi atau pelapisan material nano Fe_3O_4 dapat dilakukan dengan berbagai cara dan dapat diaplikasikan untuk berbagai hal. Dalam orasi ilmiah ini akan dipaparkan modifikasi material nano

berbasis oksida besi khususnya nano Fe_3O_4 yakni dengan (1) Memanfaatkan Asam Humat (AH) yang diekstrak dari tanah gambut Kalimantan Timur sebagai penyalut material nano Fe_3O_4 dan diaplikasikan untuk mendegradasi limbah fenol di lingkungan, (2) Menggabungkan material nano Fe_3O_4 -arang aktif (AA) yang digunakan sebagai adsorben logam berat cadmium, (3) Membuat komposit Fe_3O_4 -Ag/ WO_3 untuk mendegradasi secara sonokatalisis zat warna metilen biru serta (4) modifikasi Fe_3O_4 -kitosan sebagai antibakteri dan penghantaran obat.



A. Material Nano

Material nano adalah suatu bahan yang mengacu pada dimensi ukuran 1-100 nanometer (nm) dimana besaran 1 nm setara dengan 10^{-9} m. Material berukuran nano memiliki sifat unik yang berbeda signifikan dengan material yang sama pada ukuran makroskopis seperti sifat fisik, kimia, magnetik, optik, listrik atau mekanik contohnya : partikel besi (Fe) berukuran nano menunjukkan peningkatan sifat magnetik lebih kuat dibanding partikel besi ukuran makroskopis. Partikel platina (Pt) berukuran makro cenderung stabil dan kurang reaktif berubah menjadi sangat reaktif jika diubah menjadi ukuran nano. Hal ini disebabkan peningkatan rasio luas permukaan terhadap volume pada skala nano yang memberikan lebih banyak peluang untuk interaksi molekuler lebih kuat. (Ashby, *et.al.*, 2009)

Istilah nanomaterial dikemukakan pertama kali oleh pemenang nobel Fisika Richard Feynman tahun 1959 yang menyampaikan makalah tentang *"There's Plenty of Room at the Bottom"* yakni inovasi memanipulasi kegiatan atau material dalam ukuran skala kecil karena banyak hal-hal baru yang akan diperoleh dari ukuran kecil tersebut, kemudian berkembang istilah nanoteknologi tahun 1974 yang digagas oleh seorang ilmuwan Jepang Norio Taniguchi yang menjelaskan proses permesinan material yang tepat dan akurat pada skala nano. Perkembangan nanoteknologi semakin berkembang setelah Drexler menerbitkan buku *"Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology"* yang mengemukakan teori rekayasa molekular tahun 1986. Hingga saat ini riset nanomaterial dan nanoteknologi semakin populer dan berkembang pesat dengan berbagai aplikasi yang makin luas, mencakup inovasi bidang energi, elektronik, pengobatan/kesehatan, lingkungan dan material (Hornyak, *et. al*, 2009).

Pembuatan material nano dapat dilakukan dengan dua pendekatan metode yakni :

1. Metode top-down yaitu metode pembentukan nanomaterial dari material berskala makroskopis diubah menjadi ukuran berskala nano, contohnya penggilingan mekanis dengan bola (*ball minning*), nanolitografi, *sputtering*, ablasi laser dan dekomposisi termal.
2. Metode bottom-up adalah metode menghasilkan material berskala nano dari bentuk atom atau molekul yang ditata dan dikontrol dengan tepat, contohnya proses deposisi uap, teknik sol gel, elektrokimia/kimia, bioreduksi atau proses kondensasi atom/molekul. (Tripathy, *et. al*, 2023)

Pemilihan pembuatan material nano dengan metode top-down atau bottom-up bergantung pada aplikasi yang diinginkan atau sifat nanomaterial yang dibutuhkan. Metode bottom-up akan dapat diperoleh ukuran dan keseragaman material nano lebih baik, sedangkan metode top-down lebih mudah, sederhana dan biaya relatif murah. (Mekuye and Abera, 2023)

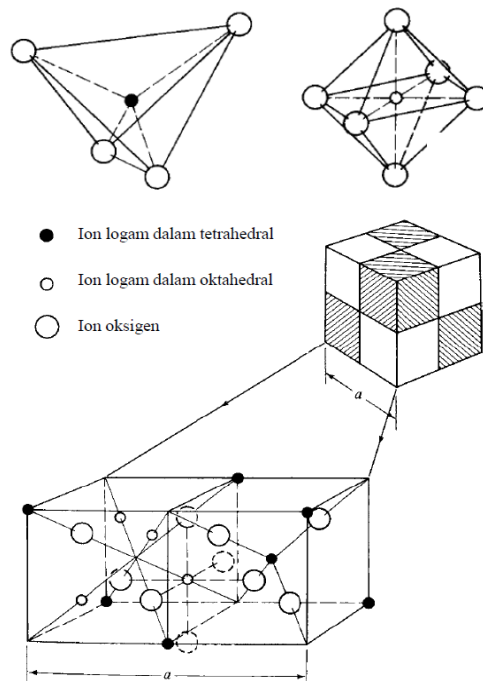
B. Material Nano Berbasis Oksida besi (Fe_3O_4)

Material nano berbasis oksida besi ditemukan dalam 3 bentuk yakni magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Hematit lebih awal ditemukan dan keberadaanya cukup melimpah di batuan dan tanah sedangkan magnetit dikenal dengan sebutan oksida besi hitam (*black iron oxide*) yang terdapat dalam bijih besi magnetik (*magnetic iron ore*), kristal magnetit, *loadstone*, ferro ferit dan pasir besi (*black iron sand*). Untuk maghemit diperoleh dalam tanah karena kondisi cuaca atau pemanasan oksida lain. Namun ketiga bentuk oksida besi tersebut sangat banyak digunakan untuk keperluan teknologi (Cornell and Schwertman, 2003)

Salah satu fokus pembahasan material nano berbasis oksida adalah material nano Fe_3O_4 . Material ini sangat mudah dikenali karena termasuk sedikit mineral yang mudah tertarik dengan magnet, berwarna hitam, buram, bersifat submetalik hingga

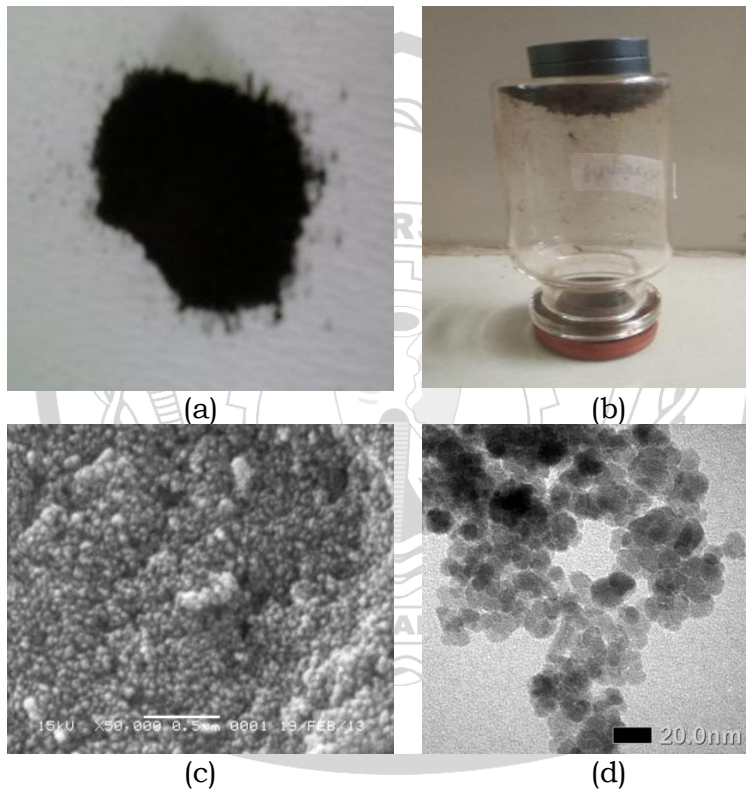
metalik yang sering ditemukan di batuan beku, metamorf atau sedimen. Keberadaan Fe_3O_4 paling dominan terdapat pada bijih besi magnetic (*magnetic iron ore*) yang memiliki kandungan tertinggi Fe sebesar 72,4% lebih tinggi daripada hematit dan kandungan terendah sekitar 20-30% Fe karena adanya pengotor.

Material nano Fe_3O_4 memiliki struktur spinel terbalik dimana perunit sel terdapat 16 kation Fe(III) dan 8 kation Fe(II) yang terdistribusi di antara subkisi A dan B yakni situs B ditempati ion Fe(II) dan ion Fe(III) dengan struktur oktahedral sedangkan situs A ditempati ion Fe(III) saja membentuk struktur tetrahedral (Teja and Koh, 2009). Struktur kristal material nano Fe_3O_4 ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1 Struktur kristal Fe_3O_4 (a) tetrahedral (b) oktahedral (c) kubik magnet (d) posisi tetrahedral dan oktahedral dalam struktur kubik (Cullity and Graham, 2009)

Material Fe_3O_4 bersifat non toksik, berbentuk sferis dan biokompatibel (Kumar *et al.*, 2010), keras, tahan panas, kemampuan katalitik serta bersifat ferromagnetik sehingga mudah untuk pemisahan (Chang *et al.*, 2006). Berikut bentuk fisik dan karakteristik Fe_3O_4 pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk fisik dan karakteristik Fe_3O_4

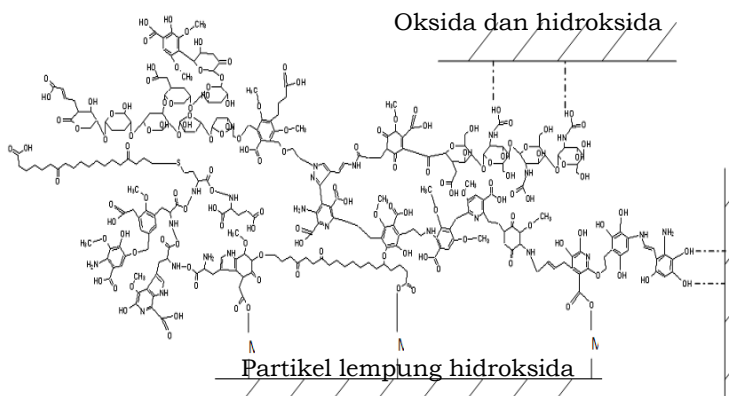
(a) bentuk kristal (b) sifat kemagnetan, (c) Morfologi permukaan (d) Citra TEM (Koesnarpadi, 2017)

Pemanfaatan Fe_3O_4 banyak digunakan untuk berbagai dunia industri, kesehatan dan lingkungan. Dalam dunia industri, Fe_3O_4 digunakan untuk pelapisan protektif dan sensitif (Cornell and

Schwertman, 2003). Untuk bidang biomedik dimanfaatkan sebagai *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), hipertamia (Jain *et al.*, 2008), bahan untuk pembawa obat dalam tubuh (Yang *et al.*, 2006) dan pengobatan kanker (Hu *et al.*, 2006). Bidang lingkungan digunakan untuk *recovery* logam-logam berat (Liu *et al.*, 2008) atau polutan-polutan organik pengolahan air dan air limbah, desalinasi dan pencitraan warna. Namun magnetit memiliki kelemahan yakni kurang stabil, mudah mengalami oksidasi dan aglomerasi. Oleh karena itu, salah satu cara untuk mengurangi sensitivitas material nano magnetit dilakukan dengan cara proteksi/pelapisan yang berfungsi untuk menjadikan sifat material lebih atraktif dan stabil (Faraji *et al.*, 2010). Magnetit termasuk material yang mudah dimodifikasi untuk meningkatkan stabilitas dan menurunkan proses aglomerasi (Jingjing and Dengxin, 2011). Modifikasi material nano magnetit dapat dilakukan dengan senyawa organik atau senyawa anorganik (Chang *et al.*, 2011).

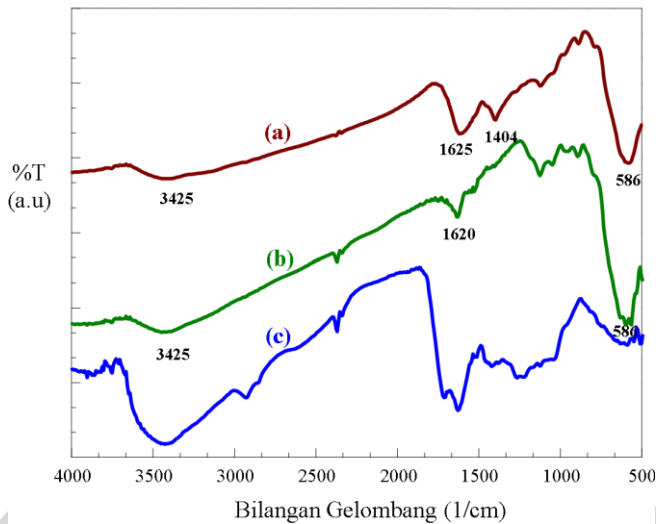
C. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Asam Humat dan Aplikasinya untuk Mendegradasi Fenol

Asam humat (AH) adalah makromolekul alam yang berasal dari dekomposisi hewan/tumbuhan di dalam tanah dalam jangka waktu lama. Senyawa AH dapat diekstrak dari tanah gambut yang tersebar di Kalimantan Timur. Karakteristik AH memiliki multi gugus fungsi dan bervariasi seperti gugus karboksil, fenolik, karbonil, hidroksida, alkohol, amino, kuinon dan metoksil (Stevenson, 1994). Berikut salah satu struktur hopetetik AH pada Gambar 3.



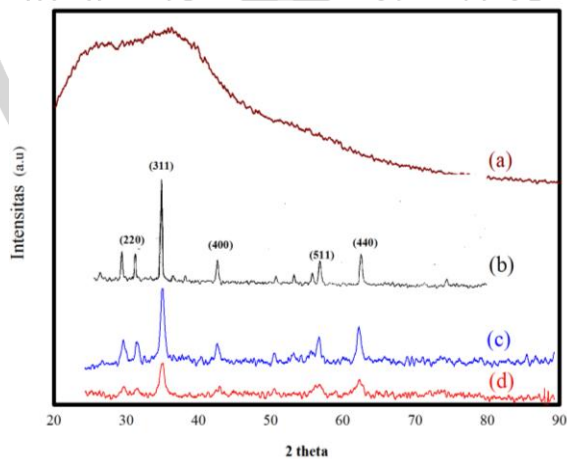
Gambar 3, Struktur hipotetik AH menurut Chen and Tarchinzhsky (2002)

Senyawa AH mempunyai kestabilan yang baik dan afinitas yang tinggi sebagai pengompleks terhadap sisi aktif permukaan Fe_3O_4 . Material nano Fe_3O_4 mempunyai muatan positif $< \text{pH } 8$ dan muatan negatif > 8 . Pada pH rendah, terjadi protonasi pada permukaan $\text{Fe}-\text{OH}$ menjadi bentuk $\text{Fe}-\text{OH}_2^+$. Di atas pH titik isoelektrik terjadi deprotonasi dari $\text{Fe}-\text{OH}$ menjadi bentuk $\text{Fe}-\text{O}^-$. Dengan terlarutnya AH pada permukaan Fe_3O_4 akan berpengaruh terhadap sifat muatan partikel sehingga akan mengembangkan interaksi partikel dalam sistem berair (Illes and Tombacz, 2006). Modifikasi AH pada Fe_3O_4 berhasil menambah gugus fungsi dan menstabilkan material nano Fe_3O_4 . Berikut spektra FTIR Fe_3O_4 -AH, Fe_3O_4 dan AH yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektra FTIR (a) Fe₃O₄-AH, (b) Fe₃O₄ dan (c) AH (Koesnarpadi, 2017)

Struktur kristal Fe₃O₄-AH hampir sama dengan Fe₃O₄ dan tidak mengalami perubahan setelah penambahan, seagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



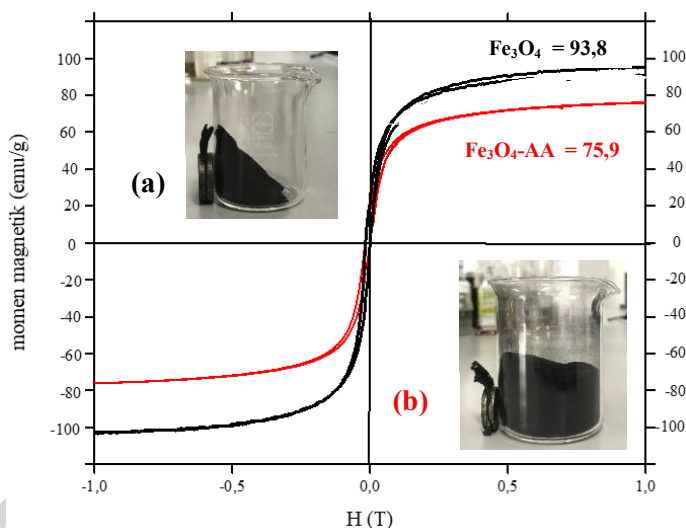
Gambar 5 Difraktogram (a) AH (b) standar Fe₃O₄ (c) Fe₃O₄ (d) Fe₃O₄-AH (Koesnarpadi, 2017)

Aplikasi material nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$ untuk mendegradasi fenol di lingkungan pada rentang waktu kontak 120 menit sebesar 55 mg/L sedangkan untuk $\text{Fe}_3\text{O}_4 = 48$ mg/L. Kemampuan degradasi fenol pada $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$ lebih besar 1,5x dibanding Fe_3O_4 dengan kestabilan material lebih baik (Koesnarpadi, 2017).

D. Modifikasi Material Nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Arang}$ Aktif dan Aplikasinya sebagai Adsorben Logam Berat

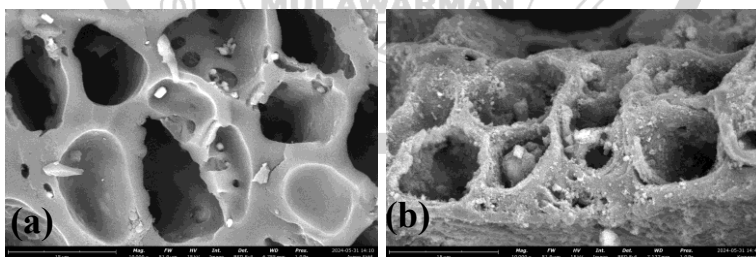
Arang aktif (AA) merupakan adsorben dengan kemampuan adsorpsi yang tinggi dan reaktif karena memiliki pori-pori yang efektif untuk penyerapan. (Nitsae *et.al.*, 2021). Arang aktif termasuk senyawa karbon amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau melalui perlakuan khusus pada arang untuk memperoleh permukaan yang lebih luas (Dewi *et.al.*, 2020). Arang aktif sering digunakan sebagai adsorben karena memiliki daya adsorpsi yang besar hingga mencapai 25-100% dari berat arang aktifnya (Prihandini, 2021).

Untuk pemanfaatan lebih luas, arang aktif dapat dimodifikasi dengan membuat komposit material nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ yang dapat menghasilkan sifat baru yakni sifat adsorpsi yang dominan keberadaan pori-pori dari arang aktif sekaligus sifat magnet dengan adanya Fe_3O_4 (Reknosari., 2021). Oleh karena itu, modifikasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi sekaligus memudahkan dalam proses pemisahan. Berikut sifat kemagnetan Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ yang ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6 Kurva magnetisasi (a) Fe_3O_4 dan (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ (Fradita, 2024)

Morfologi permukaan AA menunjukkan adanya pori-pori terbuka dengan tekstur permukaan yang halus tidak berlapis, sedangkan permukaan material nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ berupa pori-pori dengan tekstur kasar yang menandakan adanya Fe_3O_4 berbentuk sferis pada area pori-pori. Berikut citra SEM morfologi permukaan AA dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ pada Gambar 7.



Gambar 7 Citra SEM morfologi permukaan (a) AA dan (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ dengan perbesaran 10.000x (Fradita, 2024)

Pada pH 7, kapasitas adsorpsi logam berat Cd pada adsorben AA sebesar 11,6 mg/g, sedangkan adsorpsi logam Cd pada material nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$

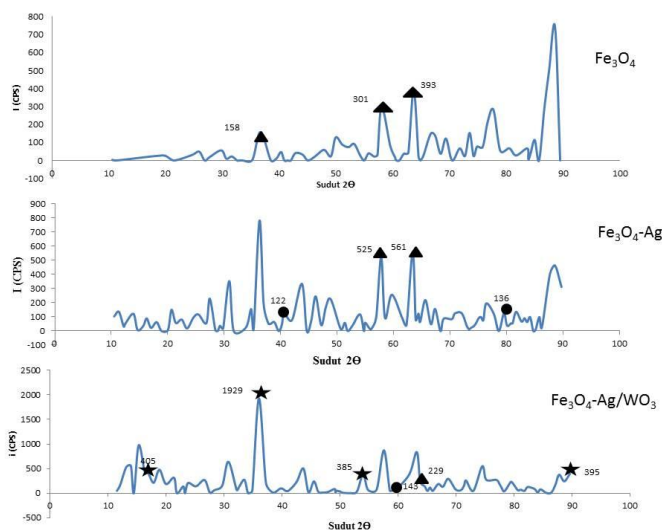
meningkat menjadi 12,4 mg/g serta pemisahan dapat dilakukan dengan magnet eksternal secara cepat. (Fradita, 2024).

E. Modifikasi Material Nano Fe₃O₄-Ag/WO₃ dan Aplikasinya untuk Sonokatalisis zat warna

Sonokatalisis adalah gabungan proses sonolisis menggunakan gelombang ultrasonik dan katalisis dalam medium air yang akan menghasilkan radikal hidroksil dan mampu mendegradasi senyawa organik menjadi senyawa lebih sederhana (Putri, 2019).

Katalis yang biasa digunakan adalah bahan semikonduktor contohnya WO₃ (Hunge *et al.*, 2018) yang memiliki luas permukaan besar, stabilitas mekanik, termal dan fotokimia tinggi, daya adsorpsi besar, ramah lingkungan serta memiliki celah pita yang kecil yaitu 2,7-2,8 eV (Sucahya, 2016).

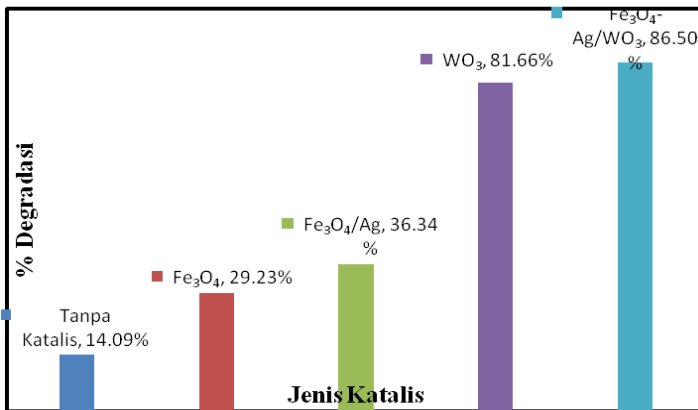
Untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses degradasi maka sering dilakukan modifikasi bahan dengan menambahkan oksida logam. Menurut Xi *et al.*, (2011), kinerja WO₃ dapat dikombinasikan dengan oksida besi Fe₃O₄ agar diperoleh kapasitas degradasi yang besar serta stabil dalam pengulangan. Sifat material nano Fe₃O₄ juga memiliki celah pita yang tinggi serta mudah dipisahkan kembali dengan magnet eksternal. Namun, Fe₃O₄ memiliki kelemahan mudah teroksidasi (Gasmalla *et al.* (2019) sehingga untuk meningkatkan ketahanan oksidasi besi tersebut maka Fe₃O₄ perlu dilapisi dengan suatu bahan nanopartikel perak (Sudarto, 2016). Nanopartikel perak memiliki permukaan plasmon penyerapan yang dapat membantu menguraikan polutan organik menjadi zat yang aman bagi lingkungan. Berikut hasil difraktogram untuk Fe₃O₄, Fe₃O₄-Ag, Fe₃O₄-Ag/WO₃ yang ditunjukkan ada Gambar 8.



Gambar 8. Difraktogram pada Fe₃O₄=▲, Fe₃O₄-Ag=●, Fe₃O₄-Ag/WO₃ =★(Yanti, 2021)

Hasil difraktogram menunjukkan bahwa komposit Fe₃O₄-Ag/WO₃ memiliki kecenderungan pola difraksi yang hampir konstan dengan pola difraksi sebelum dikompositkan namun dengan intensitas lebih kecil pada sudut 2θ tertentu, seperti difraksi Fe₃O₄ hanya pada sudut 2θ = 63,8 dan difraksi Ag pada sudut 2θ = 64,5. Pola difraksi WO₃ lebih dominan menunjukkan bentuk kristal monoklinik dengan sudut 2θ = 16,9°; 36,0°; 53,9° dan 89,6°. (Yanti, 2021).

Proses sonokatalisis zat warna metilen biru mencapai persen penurunan hingga 86,5% hanya dengan menggunakan 1 gram Fe₃O₄-Ag/WO₃ dalam waktu 15 menit. Jika dibandingkan penggunaan material katalis tanpa komposit maka penggunaan Fe₃O₄-Ag/WO₃ memiliki kemampuan degradasi zat warna metilen biru lebih besar seperti Gambar 9.



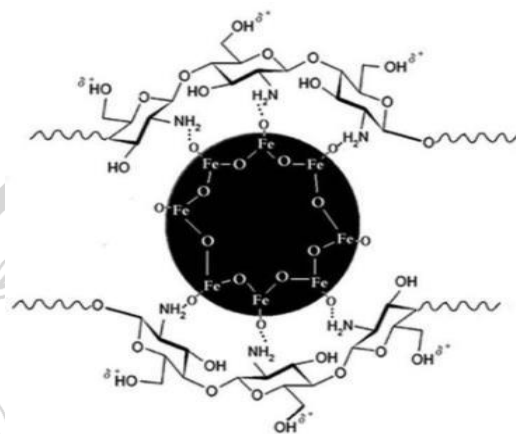
Gambar 9. Perbandingan %degradasi proses Sonokatalisis dengan beberapa material (Yanti, 2021)

F. Modifikasi Material Nano Fe₃O₄-Kitosan dan Aplikasinya sebagai Antibakteri dan Penghantaran Obat

Kitosan merupakan polimer poli-(β -1, 4-D glukosamin) hasil diasetilasi kitin pada cangkang *Crustacea* terutama udang dan kepiting yang banyak mengandung gugus fungsional amina (-NH₂) dan hidroksil (-OH). Kitosan berbentuk serbuk putih yang sangat luas pemanfaatannya baik aplikasi bidang pangan, farmasi, pertanian, medis dan lingkungan. Aplikasi kitosan dalam bidang biomedis diantaranya sebagai antibakteri dan sistem penghantaran obat (*drug delivery*) karena bersifat non toksik, biokompatibel dan biodegradabel (Stamatialis *et al.*, 2008). Namun, pemanfaatan kitosan dalam bidang medis memiliki keterbatasan karena mudah menyerap air dan memiliki derajat *swelling* yang tinggi dalam air. Hal ini menyebabkan pelepasan obat lebih cepat terjadi sebelum mengenai jaringan target pengobatan (Zhang *et al.* 2002).

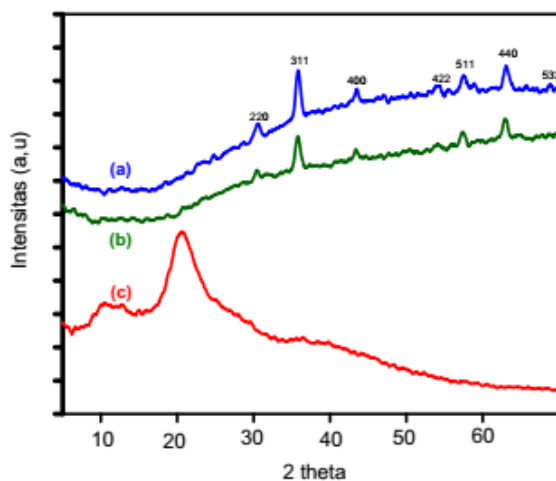
Material nano Fe₃O₄ mampu menstabilkan kitosan karena peningkatan ikatan kovalen, perakitan mandiri dan penataan permukaan (Kaushik *et al.*, 2008; Castello *et al.*, 2015). Modifikasi Fe₃O₄-kitosan

berfungsi memperbesar aktivitas antibakteri (Esfahni *et al.*, 2015), memperjelas efek terhadap bakteri gram-negatif dan gram-positif (Holban *et al.*, 2016). Serta dapat diarahkan dengan magnet eksternal pada pusat jaringan target obat (Indira and Lakshmi, 2010). Berikut interaksi material nano Fe_3O_4 -kitosan yang ditunjukkan Gambar 10.



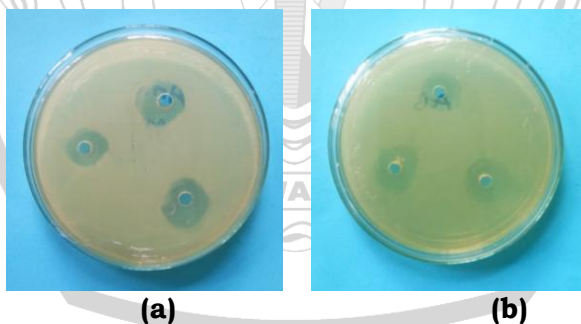
Gambar 10. Interaksi material nano Fe_3O_4 -kitosan (Salehi et al, 2015)

Hasil Difraktogram Fe_3O_4 -kitosan menunjukkan adanya pola difraksi yang sama dengan Fe_3O_4 sehingga struktur kristal Fe_3O_4 -kitosan tidak mengalami perubahan seperti pada Gambar 6.



Gambar 11. Difraktogram (a) Fe_3O_4 -kitosan (b) Fe_3O_4 , (c) kitosan (Koesnarpadi et.al., 2019)

Hasil uji aktivitas antibakteri Fe_3O_4 -kitosan terhadap bakteri *Salmonella thypi* dan *Staphilococcus auerus* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Uji antibakteri untuk (a) Fe_3O_4 -kitosan pada *S. thypi* (b) Fe_3O_4 -kitosan pada *S. aureus* (Koesnarpadi et.al., 2019)

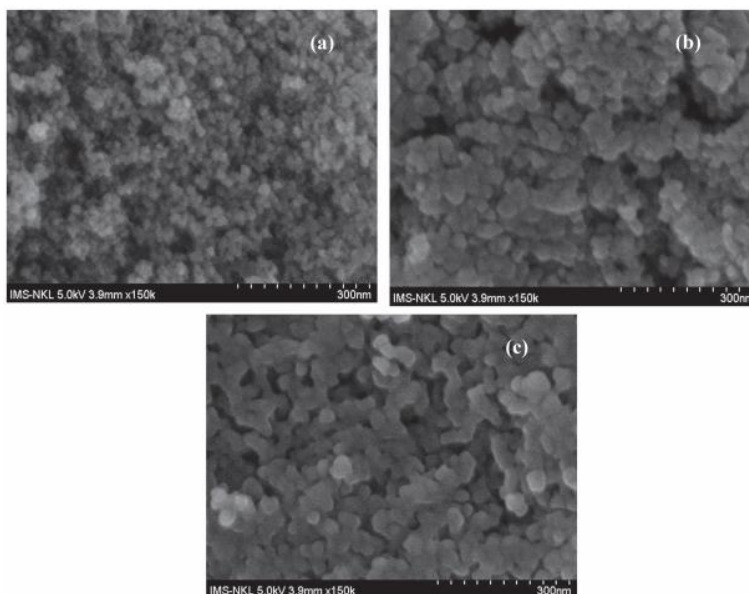
Material Fe_3O_4 -kitosan mampu memberikan daya hambat untuk bakteri gram positif *Staphilococcus aureus* dan bakteri gram negatif *Salmonella thypi* dan tergolong kuat, sedangkan untuk perbandingan uji antibakteri kitosan, Fe_3O_4 , Fe_3O_4 -kitosan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji aktivitas antibakteri kitosan, Fe₃O₄,
Fe₃O₄-kitosan

No	Sampel	Diameter zona hambat	
		<i>S. thypi</i>	<i>S. aureus</i>
1	Kitosan	11,2	14,5
2	Fe ₃ O ₄	11,7	20
3	Fe ₃ O ₄ -kitosan	10,5	12,8

Zona hambat yang ditunjukkan pada kitosan, Fe₃O₄, Fe₃O₄-kitosan tergolong kuat hal ini disebabkan masing-masing material memiliki sifat intrinsik dan ekstrinsik dalam penghambatan. Daya hambat terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* juga lebih besar dibandingkan dengan bakteri *Salmonella thypi*. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri Gram positif lebih mudah dihambat pertumbuhannya dari pada bakteri Gram negatif karena memiliki dinding sel lebih kompleks dibandingkan dengan bakteri Gram positif. Secara umum, dengan modifikasi material nano Fe₃O₄-kitosan dapat mempertahankan sifat antibakteri yang kuat dan dapat diarahkan pada jaringan target dengan magne eksternal. (Koesnarpadi *et.al.*, 2019).

Untuk aplikasi penghantaran obat, hasil foto SEM untuk Fe₃O₄, Fe₃O₄-kitosan dan kurkumin-Fe₃O₄-kitosan menunjukkan bahwa morfologi permukaan ketiga material tersebut berbentuk sferis bulat dengan ukuran diameter rata-rata 8 nm dan kulit polimer memiliki ketebalan sekitar 9 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan polimer diendapkan secara seragam pada nanopartikel Fe₃O₄, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13(b) dan (c).



Gambar 13. Foto SEM untuk (a) Fe₃O₄ (b) Fe₃O₄-kitosan (c) kurkumin-Fe₃O₄-kitosan (Pham, et.al, 2016))

Penghantaran obat anti kanker secara in vitro menggunakan kurkumin dengan material nano Fe₃O₄-kitosan (kurkumin-Fe₃O₄-kitosan) diperoleh waktu penyerapan obat cukup singkat sekitar 120 menit pada pH 7,4, dalam larutan penyangga fosfat pada suhu 37 °C dan pelepasan obat melambat selama 180 menit.

Untuk uji sitotoksitas kurkumin-Fe₃O₄-kitosan dan kurkumin bebas dievaluasi terhadap sel A549 dengan konsentrasi antara 6,25–100 µg ml⁻¹ yang ditunjukkan pada Tabel 2 diperoleh nilai IC₅₀ masing-masing 73,03 dan 11,37 µg ml⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa kurkumin-Fe₃O₄-kitosan tidak memiliki sitotoksitas pada konsentrasi normal dan menunjukkan biokompatibilitas yang baik

Tabel 2. Uji sitotoksitas kurkumin-Fe₃O₄-kitosan dan kurkumin

Konsentrasi Sel (µg/mL)	Kurkumin bebas (% inhibisi)	Kurkumin-Kitosan- Fe ₃ O ₄ (% inhibisi)
6,25	11,57	4,98
12,5	69,26	16,39
25	87,5	24,32
50	90,4	31,59
100	94,4	78,55
IC ₅₀	11,37	73,03

G. Tantangan dan Peluang Penggunaan Material Nano Berbasis Oksida Besi

Meskipun material nano berbasis oksida besi, khususnya Fe₃O₄ memiliki banyak potensi, terdapat beberapa tantangan dan peluang penggunaannya:

1. Pemanfaatan limbah besi yang cukup melimpah untuk digunakan sebagai bahan dasar pembuatan material nano
2. Produksi hijau (green synthesis) material nano yang ramah lingkungan dengan meminimalkan penggunaan reagen kimia berbahaya
3. Fungsionalisasi material nano berbasis oksida besi dengan material pendukung lainnya untuk memperluas manfaat dan sifat-sifat magnetik
4. Upaya untuk mengoptimalkan secara efisien material nano berbasis oksida besi baik biaya produksi, regulasi, efek samping lingkungan dan keamanan.

H. Kesimpulan

Material nano berbasis oksida besi khususnya Fe₃O₄ berpotensi terus dikembangkan karena keberadaan sangat melimpah, manfaat yang makin luas dan pembuatan yang lebih sederhana serta upaya-upaya untuk melakukan rekayasa material nano Fe₃O₄ agar diperoleh peningkatan kestabilan dan kapasitas fungsi dalam berbagai aplikasi, khususnya bidang lingkungan dan kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asbhy, M.F., Ferreira, P.J., Schodek, D.J, 2009, Nanomaterials, Nanotechnology and Design, Elsevier, USA
- Castelloo J., Gallardo M., Busquets M. A., Estelrich J., Chitosan (or alginate)-coated iron oxide nanoparticles: A comparative study, Elsevier, Volume 468, 5 March 2015, 151–158
- Chang, Y.C., Chang, S.W., Chen, D.H., 2006, Magnetic chitosan nanoparticles: studies on chitosan binding and adsorption of Co(II) ion, React. Funct. Polym, 66, 335-341
- Chang, Q., Zhu, L., Luo, Z., Lei., Zhang, S., Tang, H., 2011, Sono-assisted preparation of magnetic magnesium-aluminium layered double hydroxides and their application for removing fluoride, Ultrason. Sonochem, 24(1),47-51
- Chen, Y, and Tarchintzly, Z., 2008, Organo-mineral Complexes and Their Effect on The Physico-Chemical properties of Soils dalam Perminova, I.V., and Kulikova, N.A. (eds), Proceeding of The 14th International Meeting of the International Humic Substances Society (IHSS), Moskow
- Cornell, R.M. and Schwertman, U., 2003, The iron oxide: structure, properties, reactions, occurrences and uses, Second edition, Willey-VCF, Weinheim
- Cullity, B.D and Graham, C.D., 2009, Introduction to Magnetic Materials, 2nd edition, Willey, Canada
- Dewi, R, Azhari, A, Nofriadi, 2020, Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. Jurnal Teknologi Kimia 9(2), 12–20.
- Esfanhi, A.S., Salehi, M.T., Esfahni, M.N., Ekramian, E., 2015, Chitosan-modified superparamagnetic iron oxide nanoparticles: design, fabrication, characterization and antibacterial activity, Chemik, 69, 1, 19–32

- Faraji, M, Yamini, Y, Rezaee, M, 2010, Magnetic nanoparticles: synthesis, stabilizations, functionatization, characterization and application, J. Iran. Che.Soc, 7, 1-37
- Fradita, W.M., 2024, Pembuatan Arang Aktif Kulit Buah Tarap dan Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Kulit Buah Tarap Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd). Skripsi, FMIPA, Unmul
- Gasmalla, H. B., Lu, X., Shinger, M. I., Ni, L., Chisti, A. N. 2019. Novel Magnetically Spearble Of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}_3\text{PO}_4@\text{WO}_3$ Nanocomposites For Enhanced Photocatalytic And Antibacterial Activity Against Staphylococcus Aureus, Journal of Nanobiotechnology page 2-14.
- Holban, A.M., Grumezescu, V., Ficai, A., Grumezescu, A.M., Chifiricus, M.C., Iordache, F., Andronesco, E., 2016, Highly Biocompatible Magnetite Nanoparticles Functionalized With Chitosan For Improving The Efficiency Of Antibiotics, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 78
- Hornyak, G.L., Moore, J.J., Tibbals, H.F., Dutta, J., 2009, Fundamentals of Nanotechnology, CRC Press Taylor and Francis Grup, New York
- Hu, F.X., Neoh, K.G., Kang, E.T, 2006, Synthesis and in-vitro anti-camcer evaluation of tamoxifen-loaded magnetite/PLLA composite nanoparticles, Biomaterials, 27, 5725-5733
- Hunge, Y.M., Yadav, A.A, Mathe, V.L. Ultrasound Asisted Synthesis of WO_3 -ZnO Nanocomposites For Brillianat Blue Dye Degradation. Jurnal Ultrasonics Sonochemistry 45, 116–122.
- Indira, T.K. and Lakshmi P.K., 2010, Magnetic Nanoparticles – A Review, International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology 3(3): 1035-1043.
- Jain, T.K., Richey, J., Strand, M., Leslie-Pelecky, D.L., Flask, C.A., Labhasetwar, V., 2008, Magnetic nanoparticle with dual fuctional properties: drug

- delivery and magnetic resonance imaging, *Materials*, 29, 4012-4021
- Jingjin, W and Dengxin, L., 2011, Preparation and characterization of magnetic Fe_3O_4 nanoparticle coated by oleic acids, *Energ. Procedia*, 11
- Kaushik A., Khan R., Solanki P. R., Pandey P., Alam J., Ahmad S., Malhotra B.D., Iron Oxide Nanoparticles-Chitosan Composite based Glucose Biosensor, *Elseiver*, Volume 24, Issue 4,
- Koesnarpadi, S., 2017, Adsorpsi Fenol dan p-Klorofenol pada Fe_3O_4 Tersalut Asam Humat ($\text{AH-Fe}_3\text{O}_4$), Disertasi, Universitas Gadjah Mada
- Koesnarpadi, S., Astuti, W., Lianasari, I.Y., 2019, Sintesis Nanopartikel Kitosan-Magnetit dan Aplikasinya Sebagai Obat Antibakteri, Project PIU-IDB, Universitas Mulawarman
- Kumar., R., Inbaraj, B., Chen., B.H., 2010, Surface modification of superparamagnetic iron nanoparticles with calcium salt of poly (g-glutamic acid) as coating materials, *Mater. Res. Bull.*, 45, 1603-1607
- Liu, J.F., Zhao, Z.S, Jiang, G.B, 2008, Coating of magnetic nanoparticles with humic acids for high efficient removal of heavy metals in water, *Environ. Sci. Technol.*, 2, 6949-6954
- Mekuye, B. And Abera, B., 2023, Review : Nanomaterials: An overview of synthesis, classification, characterization, and applications, *Nano Select*, Wiley
- Nitsae, M., Solle, H. R. L., Martinus, S. M., Emola, I. J. 2021. Studi Adsorpsi Methylene Blue Terhadap Arang Aktif Tempurung Lontar (*Borassus flabellifer* L.) Asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), 46-57.
- Pham, X.N., Nguyen, T.P., Pham, T.N., Tran, T.T., Tran, T.V,T., 2016, Synthesis and Characterization of Chitosan Coated Magnetite Nanoparticles and Their Application in Curcumin

- Drug Delivery, Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol. 7
- Prihandini, F. A. 2021, Preparasi Arang Aktif Kulit Buah Sukun Untuk Menurunkan Bilangan Peroksida dan Asam Lemak Bebas Pada Minyak Jelantah. Skripsi Fakultas Sains & Teknologi
- Putri, R. A., Safni, S., Wellia, D. V., Septiani, U., dan Jamrun, N. 2019. Degradasi Zat Warna Orange-F3R dan Violet-3B secara Sonolisis Frekuensi Rendah dengan Penambahan Katalis C-N-Codoped TiO₂, Jurnal Kimia Valensi, Vol5(1)
- Reknosari, E. (2020). Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Komposit Fe₃O₄-Arang Aktif Ampas Kopi, Skripsi, FMIPA Universitas Mulawarman
- Stamatialis DF, Papenburg BJ, Giron'es M, Saiful S, Bettahalli SNM, Schmitmeier S & Wessling M. 2008. Medical applications of membrans: Drug delivery, artificial organs and tissue engineering. J Membrane Sci 308: 1–34.
- Stevenson, F.J., 1994, Humus Chemistry: Genesisi, composition, reactions, John Wiley & Sons Inc, New York
- Sucahya, T. N., Permatasari, N., dan Nandiyanto, A. B. D. 2016. Fotokatalis Untuk Pengolahan Limbah Cair. Jurnal Integrasi Proses, 6(1) 1-15.
- Sudarto, D. A 2016. Sintesis nanokomposit Fe₃O₄-Ag dengan metode reduksi. In Skripsi. Universitas Negeri Malang.
- Teja, A.S. and Koh, P.Y, 2009, Synthesis, properties & applications of magnetic iron oxide nanoparticles, Progr.Cryst.Growth.Charac.Mater, 55, 22-45
- Tripathy, S., Rodrigues, J., Shimpi, N.G., 2023, Top-down and Bottom-up Approaches for Synthesis of Nanoparticles
- Xi, G., Yue, B., Cao, J., dan Ye, J. 2011. Fe₃O₄/WO₃ Hierarchical Core-Shell Structure: High-Performance and Recyclable Visible-Light

- Potocatalysis. Chemistry A European Journal 17, Hokakindo University Japan
- Yanti, D, 2021, Pembuatan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag/WO}_3$ Serta Aplikasinya Untuk Mendegradasi Methylene Blue Secara Sonokatalitik, Skripsi, FMIPA Universitas Mulawarman
- Yang, C., Qian, Y., Zhang, L., Feng, J., 2006, Solvent extraction process development and on site trial-plant for phenol removal from industrial coal-gasification waste water, Chem.Eng.J., 117 (2), 179-185
- Zeng R, Tu M, Liu H, Zhao J, Zha Z, Zhou C. 2009.Preparation, Structure, Drug Release and Bioinspired Mineralization of Chitosan-based Nanocomplexes for Bone Tissue Engineering, Carbohyd Polym 78:107-111.
- Zhang M, Li XH, Gong YD, Zhao NM & Zhang XF. 2002. Properties and biocompatibility of chitosan films modified by blending with PEG. Biomaterials 23: 2641-2648

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini perkenankan saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Pemerintah Republik Indonesia, yaitu kepada Menteri Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi Republik Indonesia beserta jajarannya, atas pemberian penghargaan sebagai Guru Besar pada bidang Kimia Analitik dan Material.

Ucapan terima kasih serta salam hormat, saya sampaikan kepada Rektor Universitas Mulawarman, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU ASEAN Eng, Bapak Ketua dan Sekretaris Senat, Bapak/Ibu Wakil Rektor I, II, III dan IV, dan Bapak/Ibu anggota senat Universitas Mulawarman yang telah memberikan dukungan, sehingga terlaksananya pengukuhan ini dengan lancar.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Dekan FMIPA, Universitas Mulawarman, Dr. Dra. H. Ratna Kusuma, M.Si, Wakil Dekan I, II dan III FMIPA Unmul, Ketua, sekretaris, dan anggota senat FMIPA Universitas Mulawarman, Ketua dan sekretaris Jurusan, Program Studi, dosen, dan tendik di FMIPA Universitas Mulawarman, terkhusus bapak ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Mulawarman, atas dukungan dan doanya sehingga saya mendapat capaian ini.

Ucapan terima kasih kepada guru-guru saya di TK Siwi Peni 1 Wongiri, SDN Wonogiri 1, SMPN 1 Wonogiri, SMAN 1 Wonogiri, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Diponegoro, S2 Ilmu Kimia UGM, dan S3 Ilmu Kimia UGM yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.

Ucapan terima kasih saya kepada istri saya tercinta Agustin Nurmanina, S.Sos., M.A dan anak-anak saya tercinta Tadzkia Izza Muthiah, Syahmina Izza Nafiah, Ahmad Izzuddin Al Hanif dan Aisyah

Izzatush Sholihah atas pengertian, dukungan, dan doanya selama ini.

Dan yang terakhir dan teristimewa ucapan terima kasih kepada kedua orang tua saya almarhum Bapak Soepadmo dan Ibu Sunarsi, serta kedua mertua saya almarhum Bapak Saroni, BA dan almarhumah ibu Darusmi Nurani tercinta yang penuh pengorbanan yang tulus dan ikhlas dalam mendidik dan membesarkan saya dan atas doa-doanya selama ini, serta saudara-saudara saya tercinta Dewi Padmanintyas, Bhaju Padmaning Edhi, Hapsari Panaringrum dan Ganesya Argadi.



CURRICULUM VITAE

Nama : Soerja Kosnarpadi
NIP : 197409242000121001
NIDN : 0024097402
Tempat, Tanggal
Lahir : Wonogiri, 24-09-1974
Agama : Islam
Email : soerjakoensnarpadi@fmipa.unmul.ac.id
No HP : 081347466457
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam
Pangkat, Gol. : Pembina Tingkat 1/ IVb
Jabfung, TMT : Guru Besar,
TMT Golongan : 1-04-2024
ID SINTA : 6740041
ID SCOPUS : 56737235000

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) : S1 Kimia Universitas Diponegoro
2. Magister (S2) : S2 Kimia Analitik Universitas
Gadjah Mada
3. Doktor (S3) : S3 Kimia Analitik Universitas
Gadjah Mada

RIWAYAT PENELITIAN

1. Pabrikasi dan Karakterisasi Kalsium Sulfat Hemihidrat dari Karbon Tulang Ikan untuk Pendukung Katalis Titania (2024, Anggota)
2. Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Perak Termomodifikasi L-Cysteine Menggunakan Reduktor NaBH_4 Sebagai Pengembangan Metode Analisis (2024, Anggota)

3. Prakonsentrasi Ion Cu (II) Berbasis Mikrokapsul Magnetik-Alginat (MNPS-ALG) (2023, Anggota)
4. Pengembangan Hidrogel Mikrokomposit Kitosan/Alginat/Zeolit Clinoptilolit Tertautsilang PVA untuk aplikasi adsorben residu obat-obatan di perairan (2023, Anggota)
5. Fungsionalisasi Asam Humat Pada Nanopartikel Fe_3O_4 Dan Aplikasinya Untuk Mendegradasi Zat Warna Sintetik Dan Logam Berat (2022, Anggota)
6. Hybrid Ekstrak Meniran (*Phyllanthus Niruri* Linn) dengan Nanokomposit TiO_2 -Kitosan Sebagai Tabir Surya Dan Antioksidan (2021, Anggota)
7. Imobilisasi Asam Fulvat pada Fe_3O_4 -Nanopartikel serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Selektif Logam Berat dan Zat Warna dari Limbah Cair Tenun Samarinda (2021, Ketua)
8. Advanced Oxidation Process Dalam Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Material Komposit WO_3 Melalui Sonocatalytic (2021, Anggota)
9. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Kitosan dari Cangkang Kerang Isap (*Cerithidea obtuse*) Sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II) (2020, Ketua)
10. Sintesis Nanopartikel Kitosan-Magnetit Dan Aplikasinya Sebagai Obat Antibakteri (2019, Ketua)

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila (P5) “Pengelolaan Sampah Organik dan Anorganik di SMP Negeri 42 Samarinda (2024)
2. Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila (P5) “Hidup Sehat Bebas Sampah” di SMP Negeri 12 Samarinda (2024)
3. Pendampingan praktikum kimia di SMA 1 Muara Badak (2023)

4. Pelatihan penggunaan detektif kimia sebagai media pembelajaran kimia interaktif pada guru-guru SMA di kota Samarinda (2023)
5. Pelatihan pembuatan sabun cair dari minyak jelantah untuk sabun cuci piring (2023)
6. Pelatihan pembuatan sabun detergent cair dan sabun cuci piring untuk meningkatkan produktivitas masyarakat kelurahan Tanah Merah (2022)
7. Pengelolaan Sampah, Pembuatan Dekomposer dan Pupuk Organik Cair Bagi Santri Panti Asuhan Ruhamaa Kota Samarinda (2022)
8. Pengenalan, Pembuatan dan Pemanfaatan Material Nano Bagi Guru-Guru Tingkat SMA di Kota Samarinda dan Tenggarong (2019)

RIWAYAT PUBLIKASI

1. Pembuatan Arang Aktif Kulit Buah Tarap (*Artocarpus odoratissimus* B.) dan Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Kulit Buah Tarap Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd), Jurnal Atomik, 10(1), (2025)
2. Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+} Dengan Arang Aktif Mahkota Nanas (*Ananas Comosus* (L.) Merr) Termodifikasi Kitosan, Jurnal Atomik, 10(1), (2025)
3. Oxidation of Styrene to Benzaldehyde Using Environmentally Friendly Calcium Sulfate Hemihydrate-Supported Titania Catalysts, Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis (2024)
4. Chitosan Crosslinking from Clam Shells (*Cerithidea obtusa*) with Tripolyphosphate for Cadmium (II) Adsorption, Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia, 9(2) (2024)
5. Kinerja Analitik Mikrokapsul Magnetit-Alginat (MNPs-ALG) untuk Analisis Ion Logam Cu (II) dan

- Aplikasinya pada Sampel Alam, KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 5(1), (2024)
6. Adsorpsi Ion Logam Cadmium (II) Menggunakan Magnetit (Fe_3O_4)-Arang Aktif Kulit Buah Tatap (*Artocarpus odoratissimus*), Jurnal Atomik, 9(2) (2024)
 7. Adsorption of Methylene Blue using Composite Fe_3O_4 -Activated Charcoal Cassava Skin (*Manihot esculenta* C), Jurnal Kimia Mulawarman, 21(2) (2024)
 8. Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Adsorben Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Kulit Lai [*Durio Kutejensis Hassk. Becc.*], Prosiding Seminar Nasional 3(1), (2024)
 9. Kajian Literatur Pemanfaatan Adsorben Kitosan Termodifikasi Arang Aktif Limbah Organik Terhadap Logam Berat, Prosiding Seminar Nasional 3(1), (2024)
 10. Penentuan Variasi Komposisi dan pH Optimum Adsorben Kitosan- Fe_3O_4 Berdasarkan Persen Penyerapan Ion Pb^{2+} , Jurnal Atomik, 8 (1), (2023)
 11. Humic Acid-Modified Magnetite Nanoparticles for Removing $[\text{AuCl}_4]^-$ in Aqueous Solutions, Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, 25 (1) (2022)
 12. Study of Sonocatalytic Activity ZnO-WO_3 Composite on Degradation Phenol in Aqueous Solution, Jurnal Bahan Alam Terbarukan, Vol 11 No 1, (2022)
 13. Methylene blue degradation using $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/WO}_3$ catalyst, AIP Conference Proceedings, 2668, 030012 (2022)
 14. Fulvic acids coated magnetite nanoparticles for methylene blue adsorption, AIP Conference Proceedings, 2668, 030012 (2022)
 15. Preparation of Fulvic Acids-Functionalized Magnetite for Lead (II) Adsorption in Aqueous Solutions, AIP Conference Proceedings 2534 (1), (2022)

16. Sunscreen Activity Test Of Meniran (*Phyllanthus Niruri* L.) Herbs Extract, *Jurnal Atomik*, Vol 7 No.2, (2022)
17. Pembuatan dan Karakterisasi Adsorben Kitosan-Silika dan Pengaplikasian Terhadap Adsorpsi Ion Cd^{2+} , *Jurnal Atomik*, Vol 7 No.1, (2022)
18. Pembuatan Komposit Fe_3O_4 -Ampas Kopi Sebagai Adsorben Methylene Blue, *Prosiding Seminar Kimia*, (2022)
19. Magnetically separable humic acid-functionalized magnetite for reductive adsorption of Tetrachloroaurate (III) ion in aqueous solution, *Environment Technology Monitoring Management*, S2215-1532 (2021)
20. Synthesis and characterization of Fe_3O_4 -Activated Carbon and it's application to adsorb methylene blue, *Earth and Environmental Science*, IOP Publishing : 623 (2021)
21. Synthesis and Characterization of Chitosan-Tripolyphosphate from Clam Shells (*Cerithidea obtusa*) and Its Application to Sorption of Cadmium Ion, *Proceeding The 4 th International Conference Tropical Studies and Its Applications*, (2021)
22. Study Of Antioxidant Effectiveness Of Meniran Leaf Hybrid (*Phyllanthus niruri* L.) with TiO_2 -Chitosan *Muricata* Linn.), *Proceeding The 4 th International Conference Tropical Studies and Its Applications*, (2021)
23. Preparation Of Magnetite-Fulvic Acid (Fe_3O_4 -FA) From Peat Soil And Application To Adsorb Rhodamine-B, *Jurnal Kimia Mulawarnan*, 18 (2) (2021)
24. Sintesis Nanopartikel Kitosan-Magnetit Tersambung Silang Tripolifosfat Sebagai Antibakteri *Salmonella Typhi* dan *Staphylococcus Aureus* , *Jurnal Atomik*, Vol 6 (1), (2021)

25. Ekstraksi, Pemurnian Dan Karakterisasi Asam Humat dari Tanah Gambut Samarinda, Prosiding Seminar Nasional, (2021)
26. Studi Variasi Berat Katalis Dalam Fotodegradasi Rhodamin B Menggunakan Komposit $\text{WO}_3/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$, Jurnal Atomik, Vol 6 (1), (2021)
27. Adsorpsi Fenol menggunakan Adsorben Komposit Fe_3O_4 -arang aktif ampas kopi, Jurnal Atomik, 6(2), (2021)
28. Nanoparticles Fe_3O_4 modified chitosan and its antibacterial applications, AIP Conference Proceedings, 2237, 020022 (2020)
29. Study of Rhodamine B adsorption onto activated carbon from spent coffee grounds, AIP Conference Proceedings 2237, 020007 (2020)
30. Study on Photodegradation Activity of Rhodamine-B by $\text{WO}_3/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ Composites in Various Material Weight Condition, Jurnal Atomik, 2(1), (2020)
31. Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Ampas Kopi, Jurnal Kimia Mulawarman (2020)
32. Modifying humic acids on magnetite nanoparticles to sorption of p-chlorophenol, Journal of Physics: Conference Series 1277 (2019)

RIWAYAT JABATAN

1. Dosen di Prodi Kimia Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2001-sekarang)
2. Kepala Laboratorium Analisis Lingkungan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2018-2019)
3. Sekretaris Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2019-2023)
4. Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2023-sekarang)

RIWAYAT ORGANISASI

1. Anggota Himpunan Kimiawan Indonesia (HKI) (2005-sekarang)
2. Masyarakat Nano Indonesia (MNI) (2018-sekarang)





UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Darnah, S.Si, M.Si.

BIOSTATISTIKA ADAPTIF: MODEL LOCAL LINEAR
MULTI-PREDICTOR POISSON REGRESSION
SEBAGAI INSTRUMEN ANALITIK DALAM
PERSPEKTIF SUSTAINABLE DEVELOPMENTS
GOALS (SDGs)

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Darnah, S.Si., M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
ORASI ILMIAH	2
A. Analisis Regresi	5
B. Regresi Poisson.....	6
C. Fungsi Kernel dan Bandwidth	9
D. Estimator Lokal Linier.....	11
E. Estimator Likelihood Lokal pada Regresi Poisson.....	13
F. Metode <i>Newton-Raphson</i>	17
G. <i>Bandwidth</i> Optimal.....	19
H. Hasil Pengembangan Teori	21
I. Analisis Kasus Stunting Kalimantan Timur..	26
J. Kesimpulan	34
DAFTAR PUSTAKA.....	35
UCAPAN TERIMA KASIH	40
CURRICULUM VITAE.....	43

SINOPSIS

Model *Local Linear Multi-Predictor Poisson Regression* merupakan pengembangan dari regresi Poisson multi prediktor dengan pendekatan nonparametrik berbasis kernel lokal. Estimasi dilakukan dengan metode *locally weighted maximum likelihood*, dan *bandwidth* optimal dipilih berdasarkan nilai *Maximum Likelihood Cross Validation* (MLCV). Model ini dirancang untuk menganalisis data diskrit (*count data*) yang bersifat spasial dan heterogen, sehingga mampu menggambarkan pola lokal secara lebih tajam dibandingkan pendekatan model global.

Estimasi yang disesuaikan pada setiap titik observasi memungkinkan model ini merespons fluktuasi lokal secara lebih akurat dibandingkan pendekatan global yang cenderung meratakan dan mengaburkan pola khas tiap wilayah.

SDGs menekankan pentingnya keadilan dan sensitivitas terhadap perbedaan wilayah. Oleh karena itu, kita tidak bisa menyelesaikan persoalan global dengan model yang mengabaikan lokalitas. Kita butuh pendekatan yang presisi, adaptif, dan berbasis bukti. Model ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi wilayah prioritas, mengevaluasi efektivitas program berbasis lokasi, dan merancang kebijakan yang lebih tepat sasaran.

Dalam implementasinya, model ini telah diaplikasikan pada kasus stunting di Kalimantan Timur. Implikasi pendekatan ini menjadi fondasi analitik yang kuat dalam berbagai kasus di sektor kesehatan, lingkungan, ekonomi, dan sosial. Melalui peran biostatistika adaptif, kompleksitas data sosial dapat diterjemahkan secara lebih presisi untuk mendukung intervensi kebijakan yang berdampak.

ORASI ILMIAH

Bismillahirrahmanirrahim,
Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.
Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua.

Yang kami hormati Ketua dan Sekretaris Senat, serta seluruh Anggota Senat Universitas Mulawarman, Bapak Rektor & Bapak Ibu Wakil Rektor, Bapak Ibu Dekan & Wakil Dekan, Bapak Ibu Ketua & Sekretaris Jurusan, Koordinator Program Studi, Bapak Ibu Guru Besar, Bapak Ibu Dosen serta seluruh undangan yang berbahagia.

Alhamdulillah, sama-sama kita bersyukur kepada Allah SWT atas segala nikmat-Nya sehingga kita berkesempatan hadir dalam suasana yang penuh kehormatan dan semangat intelektual. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, sahabat-sahabatnya, serta pengikutnya sampai akhir zaman.

Bapak Ibu hadirin sekalian, merupakan kehormatan besar bagi saya sebagai akademisi yang berkecimpung dalam bidang **Biostatistika** untuk berdiri di hadapan forum yang terhormat ini. Dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, mohon izin saya menyampaikan orasi ilmiah yang berjudul:

Biostatistika Adaptif: Model Local Linear Multi-Predictor Poisson Regression sebagai Instrumen Analitik dalam Perspektif Sustainable Developments Goals (SDGs).

Di tengah tantangan global seperti penyakit menular, malnutrisi, hingga disparitas layanan kesehatan, diperlukan pendekatan analitik yang tidak hanya kuat secara teoritik, tetapi juga adaptif terhadap konteks lokal dan realitas sosial. Di tengah dunia yang bersifat

dinamis, model-model statistik yang statis tidak lagi memadai.

Melalui penelitian ini, kami mengembangkan model Local Linear Multi-Predictor Poisson Regression, menggunakan pendekatan locally kernel weighted maximum likelihood estimator serta pemilihan bandwidth optimal menggunakan Maximum Likelihood Cross Validation (MLCV). Model ini memungkinkan kita menangkap variasi lokal dalam count data, seperti jumlah kasus penyakit, kasus stunting, kunjungan layanan kesehatan, atau intervensi imunisasi.

Dengan estimasi yang disesuaikan di setiap titik observasi, model ini jauh lebih responsif terhadap fluktuasi lokal dibandingkan pendekatan global yang cenderung merata dan mengaburkan pola unik di setiap wilayah.

SDGs mengamanatkan pendekatan yang berbasis data, berbasis bukti, dan sensitif terhadap ketimpangan. Kita tidak bisa menyelesaikan persoalan global dengan model yang mengabaikan lokalitas. Kita butuh pendekatan yang presisi, dapat mengidentifikasi wilayah berdasarkan urgensinya, mengevaluasi efektivitas intervensi berbasis lokasi, dan membantu menyusun kebijakan yang tepat sasaran.

Hadirin yang saya hormati, dalam implementasinya, model ini telah kami aplikasikan pada kasus stunting di Kalimantan Timur. Implikasi pendekatan ini menjadi landasan analitik yang kuat dalam berbagai kasus di sektor kesehatan, lingkungan, pendidikan, bahkan perencanaan kota selama berupa count data dan bersifat lokal. Di sinilah biostatistika adaptif mengambil perannya: sebagai navigasi ilmiah yang menuntun kita menerjemahkan kompleksitas sosial menjadi arah intervensi yang berdampak.

Hadirin yang saya hormati, sebagai penutup saya mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya Kepada Pemerintah Republik Indonesia dalam hal ini Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas pemberian penghargaan sebagai Guru Besar di Bidang Biostatistika. Penghargaan dan ucapan terima kasih, kami sampaikan kepada Rektor Universitas Mulawarman, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU., ASEAN Eng, serta Bapak Ibu Wakil Rektor, Ketua Senat, Bapak Prof. Dr. H. Muh. Amir Masruhim, M.Kes., Sekretaris dan seluruh anggota Senat Universitas Mulawarman atas kepercayaan dan dukungannya. Penghargaan dan ucapan terima kasih, kami sampaikan kepada Dekan Fakultas MIPA, Ibu Dr. Dra. Hj. Ratna Kusuma, M.Si. beserta Wakil Dekan, Ketua Senat, Ibu Dr. Eva Marlina, M.Si, Sekretaris dan Anggota Senat Fakultas MIPA serta seluruh Sivitas Akademika Fakultas MIPA.

Rasa terima kasih saya sampaikan kepada kedua orang tua saya, Bapak Andi Nohe dan Almarhum Ibu Andi Donno, saudara-saudara saya: Andi Muttiara, Andi Nahdar, Andi Dahring, Andi Darniah, Andi Darman, serta suami tercinta Imam Rofii, anak-anak saya Andi Syaifullah Al Maslulil Agri, Andi Ahmad Dzaky Palewai Agri, Andi Muhammad Akhtar Al Fadi Agri, dan Andi Farzan Rayhan Shakeil Agri serta seluruh keluarga besar atas doa dan dukungannya hingga pencapaian jabatan ini.

Demikian penyampaian orasi ilmiah Guru Besar ini, semoga orasi ini dapat memperkuat komitmen kita terhadap riset yang bermakna, kolaborasi inter disipliner, dan kontribusi nyata bagi pembangunan berkelanjutan. Wassalamu alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

A. Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan salah satu analisis yang digunakan untuk menggambarkan hubungan fungsional antara variabel prediktor dan variabel respon dengan tujuan utama adalah mengetahui kontribusi setiap nilai variabel prediktor terhadap variabel respon (Fan & Gijbels, 1996). Misalkan y adalah variabel respon dan x adalah variabel prediktor, maka model regresi yang menggambarkan hubungan fungsional antara satu variabel respon (uni-respon) y dan variabel prediktor x dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y = m(x) + \varepsilon \quad (1)$$

Residual ε diasumsikan berdistribusi normal dengan rata-rata 0 dan variansi σ^2 atau $N(0, \sigma^2)$.

Menurut Eubank (1999), fungsi $m(\cdot)$ pada persamaan (1) disebut fungsi regresi. Fungsi $m(\cdot)$ dapat diestimasi dengan menggunakan pendekatan regresi parametrik dan regresi nonparametrik. Pada pendekatan regresi parametrik, bentuk fungsi regresi $m(\cdot)$ diketahui sehingga yang diestimasi adalah nilai parameternya. Pada pendekatan regresi nonparametrik, $m(\cdot)$ merupakan fungsi *smooth* yang tidak dispesifikasikan bentuknya dan diestimasi menggunakan metode *smoothing* tertentu (Hastie & Tibshirani, 1986). Menurut Eubank (1999), fungsi regresi $m(\cdot)$ merupakan fungsi kontinu dan *differensiable*.

Variabel respon y pada persamaan (1) dapat berupa variabel random kontinu atau variabel random diskrit. Beberapa model regresi dengan variabel respon diskrit antara lain regresi Poisson, regresi *Generalized Poisson*, dan regresi Binomial Negatif. Menurut Santos

& Neves (2008), model regresi yang populer digunakan pada variabel respon diskrit adalah regresi Poisson. Pemodelan regresi Poisson tidak hanya melibatkan satu variabel respon karena seringkali ditemukan fenomena yang melibatkan beberapa variabel respon, misalnya jumlah kunjungan konsultasi dokter dan tenaga kesehatan bukan dokter (Famoye, 2010), jumlah kunjungan konsultasi klinik umum dan klinik spesialis (AlMuhayfith *et al.*, (2016), dan tipe klaim pada bidang asuransi (Bermudez & Karlis, 2011). Analisis regresi Poisson yang melibatkan satu variabel respon dengan satu atau lebih variabel prediktor disebut regresi Poisson unirespon. Regresi Poisson yang melibatkan dua variabel respon yang saling berkorelasi dengan satu atau lebih variabel prediktor disebut regresi Poisson birespon. Perluasan dari regresi Poisson birespon adalah regresi Poisson multirespon, yaitu regresi Poisson yang melibatkan lebih dari dua variabel respon dengan satu atau lebih variabel prediktor.

B. Regresi Poisson

Misalkan Y_i adalah variabel random diskrit dengan parameter θ_i untuk $i=1,2,L,n$. Jika Y_i berdistribusi Poisson, maka fungsi kepadatan peluangnya adalah (Ismail & Jemain, 2007):

$$P(Y_i = y_i) = f(y_i) = \frac{\theta_i^{y_i} \exp(-\theta_i)}{y_i!}, \quad y_i = 0, 1, 2, K \quad (2)$$

dengan rata-rata dan variansi adalah

$$E(Y_i) = Var(Y_i) = \theta_i. \quad (3)$$

Regresi Poisson termasuk dalam *Generalized Linear Models* (GLMs). Menurut Myers *et al.*, (2010), GLMs merupakan perluasan dari model linier klasik. Pada model linier klasik, variabel respon dalam model regresi mengikuti distribusi normal dan hubungan antara variabel respon dengan variabel prediktor bersifat linier. Pada GLMs, memungkinkan variabel respon mengikuti distribusi normal dan tidak normal yang termasuk dalam keluarga eksponensial yaitu distribusi normal, binomial, Poisson, geometrik, negatif binomial, eksponensial, dan gamma. Hubungan antara rata-rata variabel respon dengan variabel prediktor dapat bersifat tidak linier. GLMs dispesifikasikan oleh tiga buah komponen, yaitu: komponen random, komponen sistematis, dan fungsi penghubung.

Komponen random adalah suatu komponen yang mengidentifikasi distribusi peluang dari variabel respon berasal dari keluarga eksponensial. Menurut Walpole *et al.*, (2011), suatu variabel random Y merupakan anggota keluarga eksponensial jika dapat dinyatakan dalam fungsi kepadatan peluang berikut:

$$f(y; \theta, \phi) = \exp \left(\frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right) \quad (4)$$

dengan $a(\cdot)$, $b(\cdot)$ dan $c(\cdot)$ merupakan fungsi spesifik.

Komponen sistematis dari GLMs berkaitan dengan prediktor linier sebagai fungsi dari variabel prediktor yaitu:

$$\eta_i = x_i^T \beta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p \quad (5)$$

Pada komponen sistematis, fungsi dari variabel prediktor diasumsikan berbentuk linier.

Komponen terakhir dari GLMs adalah fungsi penghubung (*link function*). Misalkan g merupakan suatu fungsi yang linier yang menghubungkan antara

mean variabel respon dan variabel prediktor, fungsi g dapat dituliskan sebagai berikut:

$$g(\theta_i) = \eta_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + L + \beta_p x_p = x_{0\%0\%}^T \beta \quad (6)$$

Hubungan antara rata-rata dan prediktor linier adalah:

$$\theta_i = g^{-1}(\eta_i) = g^{-1}(x_{0\%0\%}^T \beta) \quad (7)$$

Fungsi penghubung yang digunakan untuk menjamin bahwa variabel yang diestimasi dari variabel respon bernilai non negatif adalah fungsi penghubung log yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$g(\theta_i) = \ln(\theta_i) = x_{0\%0\%}^T \beta \quad (8)$$

sehingga:

$$\theta_i = \exp(x_{0\%0\%}^T \beta). \quad (9)$$

Model regresi Poisson menunjukkan rata-rata dari distribusi Poisson. Menurut Santos & Neves (2008), rata-rata dari Y pada regresi Poisson dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E(Y_i) = \theta_i = \exp(m(x_i)) \quad (10)$$

Seperti halnya pada persamaan (1), fungsi $m(.)$ pada persamaan (9) merupakan fungsi regresi yang dapat didekati menggunakan pendekatan regresi parametrik dan pendekatan regresi nonparametrik. Pendekatan regresi parametrik pada model regresi Poisson merupakan pendekatan yang umum digunakan dengan mengasumsikan $m(.)$ sebagai

fungsi linier seperti diberikan pada persamaan (7). Apabila peneliti menggunakan pendekatan regresi nonparametrik yang tidak mengasumsikan bentuk tertentu fungsi $m(\cdot)$ seperti, linier, kuadratik, dan eksponensial maka dapat memberikan fleksibilitas yang lebih besar terhadap bentuk yang mungkin dari fungsi $m(\cdot)$.

C. Fungsi Kernel dan Bandwidth

Pendekatan regresi nonparametrik dengan metode polinomial lokal dipengaruhi oleh fungsi Kernel dan *bandwidth* h . Fungsi Kernel merupakan fungsi bernilai real, kontinu, terbatas, dan simetris yang didefinisikan sebagai berikut (Wasserman, 2005):

$$K_h(x) = \frac{1}{h} K\left(\frac{x}{h}\right), \text{ untuk } -\infty < x < \infty \text{ dan } h > 0 \quad (11)$$

dan memenuhi sifat-sifat berikut:

- $K(x) \geq 0, \forall x$.
- $\int_{\mathbb{R}} K(x) dx = 1$
- $\int_{\mathbb{R}} xK(x) dx = 0$
- $\sigma_K^2 = \int_{\mathbb{R}} x^2 K(x) dx > 0$.

Terdapat beberapa jenis fungsi Kernel yaitu:

- Kernel Boxcar,

$$K(x) = \frac{1}{2} I(x), \quad (12)$$

b. Kernel Gaussian,

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right), \quad (13)$$

c. Kernel Epanechnikov,

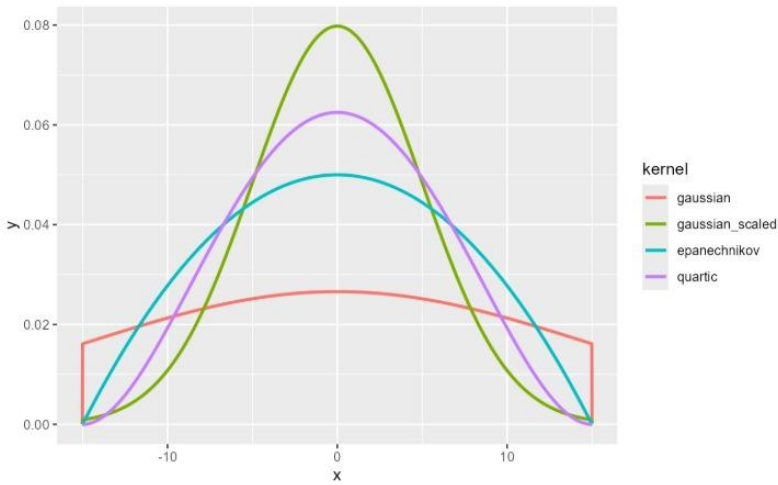
$$K(x) = \frac{3}{4} (1 - x^2) I(x), \quad (14)$$

d. Kernel Tricube,

$$K(x) = \frac{70}{81} (1 - |x|^3)^3 I(x), \quad (15)$$

dengan $I(x) = \begin{cases} 1, & \text{jika } |x| \leq 1. \\ 0, & \text{jika } |x| > 1. \end{cases}$

Gambar 1 menunjukkan beberapa jenis fungsi Kernel yang sering digunakan dalam pendekatan regresi nonparametrik.



Sumber: Yau, *et al.* (2020)

Gambar 1. Jenis Fungsi Kernel

D. Estimator Lokal Linier

Estimator lokal linier merupakan kasus khusus dari estimator polinomial lokal. Estimator polinomial lokal merupakan salah satu metode *smoothing* yang dapat digunakan sebagai pendekatan fungsi regresi $m(\cdot)$ (Fan & Gijbels, 1996). Estimator polinomial lokal dapat mengestimasi fungsi regresi $m(x_0)$ beserta turunannya, yaitu:

$$m'(x_0), m''(x_0), \dots, m^{(p)}(x_0) \quad (16)$$

Misalkan fungsi regresi $m(\cdot)$ memiliki turunan ke- $(p+1)$ pada titik x_0 maka fungsi regresi $m(\cdot)$ dapat didekati secara lokal dengan derajat polinomial p . Jika x berada di persekitaran x_0 , maka ekspansi Taylor dapat dituliskan sebagai berikut:

$$m(x) \approx m(x_0) + m'(x_0)(x - x_0) + \frac{m''(x_0)(x - x_0)^2}{2!} + L + \frac{m^{(p)}(x_0)(x - x_0)^p}{p!}$$

atau

$$m(x) \approx \sum_{j=0}^p \frac{m^{(j)}(x_0)}{j!} (x - x_0)^j \equiv \sum_{j=0}^p \beta_j(x_0) (x - x_0)^j; x \in (x_0 - h, x_0 + h)$$

Dengan

$$\beta_j(x_0) = \frac{m^{(j)}(x_0)}{j!}; j = 0, 1, 2, L, p.$$

Berdasarkan persamaan (16), untuk memperoleh estimasi parameter $\beta_{0/L}$ yaitu $\hat{\beta}_{0/L}$ maka diambil sampel berpasangan (x_i, y_i) sebanyak n sampel. Estimasi parameter menggunakan metode kuadrat terkecil terboboti atau *Weighted Least Square* (WLS) yaitu dengan meminimumkan persamaan berikut:

$$\sum_{i=1}^n \{y_i - \sum_{j=0}^p \beta_j(x_0) (x_i - x_0)^j\}^2 K_h(x_i - x_0); i = 1, 2, L, n$$

dengan $K(.)$ adalah fungsi Kernel dan h adalah *bandwidth*, yaitu suatu konstanta positif yang mengontrol persekitaran lokal untuk menentukan kemulusan dari fungsi regresi. Berdasarkan persamaan (2.16), estimator turunan ke- j atau $m^{(j)}(x_0)$ pada fungsi regresi adalah:

$$\hat{m}^{(j)}(x_0) = j! \hat{\beta}_j(x_0); j = 0, 1, 2, L, p; \quad (18)$$

Sehingga untuk $j=0$, estimasi fungsi regresi pada titik x_0 adalah

$$\hat{m}(x_0) = \hat{\beta}_0(x_0) \quad (19)$$

Menurut Fan dan Gijbels (1996), jika derajat polinomial $p=1$ maka disebut estimator lokal linier. Estimator lokal linier dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n \{y_i - \beta_0(x_0) - \beta_1(x_0)(x_i - x_0)\}^2 K_h(x_i - x_0) \quad (20)$$

E. Estimator Likelihood Lokal pada Regresi Poisson

Estimator *likelihood* lokal dalam regresi nonparametrik diperkenalkan oleh Tibshirani & Hastie (1987). Estimator ini merupakan perluasan dari teknik *scatterplot smoothing* ke dalam model linier yang didasarkan pada fungsi *likelihood*.

Misalkan diambil sampel berpasangan (x_i, y_i) yang saling bebas, jika $X = x$ dan fungsi kepadatan dari Y adalah:

$$Y|x : f(Y, \theta) \quad (21)$$

dengan $\theta = m(x)$, maka fungsi *likelihood* persamaan (21) adalah:

$$l(m(x_1), m(x_2), L, m(x_n)) = \prod_{i=1}^n f(y_i, \theta_i) \quad (22)$$

dengan $\theta_i = m(x_i)$. Estimasi *likelihood* lokal pada $m(x_i)$ adalah:

$$\hat{m}(x_i) = \hat{\beta}_{0i}(x_0) + \hat{\beta}_{1i}(x_0)(x_i - x_0) \quad (23)$$

dengan $\hat{\beta}_{0i}$ dan $\hat{\beta}_{1i}$ adalah nilai yang memaksimumkan *likelihood* berikut:

$$l_i = \prod_{i=1}^n f(y_i, \beta_{0i}(x_0) + \beta_{1i}(x_0)(x_i - x_0)) \quad (24)$$

Jika $m(x_i)$ pada persamaan (9) diestimasi menggunakan metode maksimum *likelihood* lokal terbobot kernel (*locally kernel weighted maximum likelihood*), maka untuk data x_i yang berada di sekitar titik x_0 dengan *bandwidth* h , bentuk fungsi *likelihood* lokalnya adalah:

$$l_{i,h} = \prod_{i=1}^n f(y_i | x_i)^{K_h(x_i - x_0)} \quad (25)$$

Untuk kasus lebih dari satu variabel respon dan prediktor, bentuk fungsi *likelihood* lokalnya merupakan perluasan dari persamaan (25) dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$l_{i,h} = \prod_{i=1}^n f(y_{ri} | x_{0j}^{\%i})^{\prod_{j=1}^p K_{hj}(x_{ij} - x_{0j})} ; r = 1, 2. \quad (26)$$

Berdasarkan persamaan (2), diperoleh fungsi *likelihood* berikut:

$$\begin{aligned}
 l(\theta(x_i) | y) &= \prod_{i=1}^n \frac{\theta(x_i)^{y_i} \exp(-\theta(x_i))}{y_i!} \\
 &= \frac{\prod_{i=1}^n \theta(x_i)^{y_i} \exp(-\sum_{i=1}^n \theta(x_i))}{\prod_{i=1}^n y_i!} \\
 l(m(x_i) | y) &= \frac{\prod_{i=1}^n m(x_i)^{y_i} \exp(-\sum_{i=1}^n m(x_i))}{\prod_{i=1}^n y_i!}
 \end{aligned} \tag{27}$$

Fungsi log *likelihood* dari persamaan (27) adalah:

$$L = \log l(m(x_i) | y) = \sum_{i=1}^n \{m(x_i)y_i - \exp(m(x_i)) - \ln(y_i!)\} \tag{28}$$

Jika fungsi $m(x_i)$ didekati dengan ekspansi Taylor derajat satu atau linear lokal pada titik x_i di sekitar x_0 , maka estimator *likelihood* lokal untuk $m(x_i)$ adalah:

$$m(x_i) \approx \exp[\beta_0(x_0) + \beta_1(x_0)(x_i - x_0)] \tag{29}$$

Fungsi log *likelihood* lokalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 l(\beta_{0i}, \beta_{1i} | x_i, y_i, h) &= \sum_{i=1}^n \{ (m(x_i)y_i) \\
 &\quad - \exp(m(x_i)) - \ln(y_i!) \} K \frac{(x_i - x_0)}{h}
 \end{aligned} \tag{30}$$

Fungsi log *likelihood* lokal persamaan (30) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$l(\beta_{0i}, \beta_{1i} | x_i, y_i, h) = \sum_{i=1}^n \left\{ (m(x_i) y_i) - \exp(m(x_i)) - \ln(y_i!) \right\} K \frac{(x_i - x_0)}{h} \quad (30)$$

$$l(.) = \sum_{i=1}^n \left\{ [\beta_0(x_0) + \beta_1(x_0)(x_i - x_0)] y_i - \exp[\beta_0(x_0) + \beta_1(x_0)(x_i - x_0)] - \ln(y_i!) \right\} K \frac{(x_i - x_0)}{h} \quad (31)$$

Estimator regresi Poisson *likelihood* lokal diperoleh dengan cara memaksimumkan fungsi *log likelihood* lokal pada persamaan (31) yaitu dengan menurunkan terhadap parameter $\beta_0(x_0)$ dan $\beta_1(x_0)$ kemudian menyamakannya dengan nol. Turunan pertama $l(.)$ terhadap $\beta_0(x_0)$ adalah:

$$\frac{\partial l(.)}{\partial \beta_0(x_0)} = 0$$

$$\sum_{i=1}^n \left\{ y_i - \exp[\beta_0(x_0) + \beta_1(x_0)(x_i - x_0)] \right\} K \left(\frac{x_i - x_0}{h} \right) = 0 \quad (32)$$

$$\beta_0(x_0) = \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^n \left\{ y_i K \left(\frac{x_i - x_0}{h} \right) \right\}}{\sum_{i=1}^n \left\{ \exp[\beta_1(x_0)(x_i - x_0)] K \left(\frac{x_i - x_0}{h} \right) \right\}} \right]$$

Selanjutnya turunan pertama $l(.)$ terhadap $\beta_1(x_0)$ adalah:

$$\frac{\partial l(.)}{\beta_1(x_0)} = 0$$

$$\sum_{i=1}^n \left\{ y_i(x_i - x_0) - (x_i - x_0) \exp[\beta_0(x_0) + \beta_1(x_0)(x_i - x_0)] \right\} K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) = 0 \quad (32)$$

Jika persamaan (32) disubstitusi ke persamaan (33) maka akan diperoleh persamaan berikut:

$$\sum_{i=1}^n y_i(x_i - x_0) K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) - \exp\left(\ln \left[\frac{\sum_{i=1}^n \left\{ y_i K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) \right\}}{n \sum_{i=1}^n \left\{ \exp(\beta_1(x_0)(x_i - x_0)) K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) \right\}} \right] \right) \sum_{i=1}^n \exp[\beta_1(x_0)(x_i - x_0)] (x_i - x_0) K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) = 0 \quad (34)$$

Persamaan (34) tidak dapat diselesaikan secara langsung karena tidak linier dalam parameter sehingga dibutuhkan suatu metode iteratif. Menurut Cameron dan Travedi (1998), prosedur yang umum digunakan adalah *Iteratively Reweighted Least Squares* (IRLS). Prosedur ini dilakukan dengan metode *Newton-Raphson*.

F. Metode Newton-Raphson

Metode *Newton-Raphson* merupakan metode yang populer untuk menyelesaikan persamaan yang tidak linier dalam menentukan hampiran terhadap akar fungsi riil. Metode *Newton-Raphson* konvergen dengan cepat terutama bila iterasi dimulai cukup dekat

dengan akar yang diinginkan (Ehiwario & Aghamie, 2014).

Langkah-langkah dalam metode *Newton-Raphson* untuk mengestimasi parameter regresi Poisson adalah sebagai berikut (Agresti, 2002):

1. Menentukan nilai estimasi awal parameter $\hat{\beta}_{0\wedge^{(0)}}$ menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS), yaitu:

$$\hat{\beta}_{0\wedge^{(0)}} = (X^T X)^{-1} X^T Y_{0\wedge};$$

dengan

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & L & x_{n1} \\ 1 & x_{12} & L & x_{n2} \\ M & M & O & M \\ 1 & x_{1n} & L & x_{nm} \end{bmatrix} \text{ dan } Y_{0\wedge} = [y_1 \ y_2 \ L \ y_n]^T.$$

2. Membentuk vektor gradien $g_{0\wedge}$, yaitu:

$$g_{0\wedge}^T = \left[\frac{\partial \ln L(\beta_{0\wedge})}{\partial \beta_{0\wedge}} \quad \frac{\partial \ln L(\beta_{0\wedge})}{\partial \beta_{1\wedge}} \quad L \quad \frac{\partial \ln L(\beta_{0\wedge})}{\partial \beta_{p\wedge}} \right] \quad (35)$$

p adalah banyaknya parameter yang diestimasi.

3. Membentuk matriks Hessian, yaitu:

$$\mathbf{H}_{(p+1) \times (p+1)} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \ln L(\beta)}{\partial \beta_0^2} & \frac{\partial^2 \ln L(\beta)}{\partial \beta_0 \beta_1} & L & \frac{\partial^2 \ln L(\beta)}{\partial \beta_0 \beta_p} \\ \frac{\partial^2 \ln L(\beta)}{\partial \beta_0 \beta_1} & \frac{\partial^2 \ln L(\beta)}{\partial \beta_1^2} & L & \frac{\partial^2 \ln L(\beta)}{\partial \beta_1 \beta_p} \\ \text{simetris} & & & \\ & & 0 & \frac{\partial^2 \ln L(\beta)}{\partial \beta_p^2} \end{pmatrix} \quad (36)$$

- Memasukkan nilai $\hat{\beta}_{0\wedge}^{(0)}$ kedalam elemen-elemen vektor $\mathbf{g}_{0\wedge}$ dan matriks $\mathbf{H}$, sehingga diperoleh vektor $\mathbf{g}_{0\wedge}(\hat{\beta}_{0\wedge}^{(0)})$ dan $\mathbf{H}(\hat{\beta}_{0\wedge}^{(0)})$.

- Mulai dari $m = 0$ dilakukan iterasi pada persamaan berikut:

$$\hat{\beta}_{0\wedge}^{(m+1)} = \hat{\beta}_{0\wedge}^{(m)} - \mathbf{H}^{-1}(\hat{\beta}_{0\wedge}^{(m)}) \mathbf{g}_{0\wedge}(\hat{\beta}_{0\wedge}^{(m)})$$

Nilai $\hat{\beta}_{0\wedge}^{(m)}$ merupakan sekumpulan penaksir parameter yang konvergen pada iterasi ke- m .

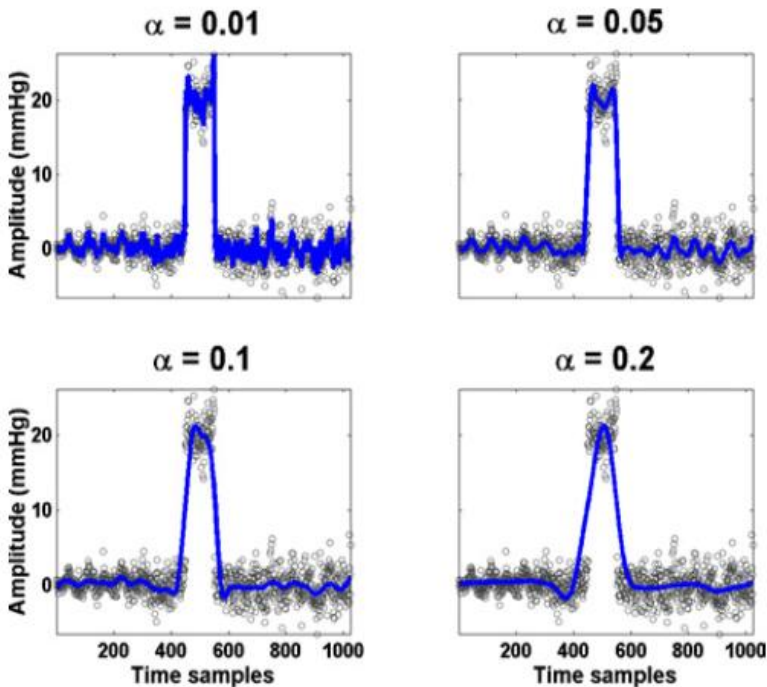
- Iterasi konvergen jika $|\hat{\beta}_{0\wedge}^{(m+1)} - \hat{\beta}_{0\wedge}^{(m)}| < \varepsilon$, $\varepsilon > 0$.

G. Bandwidth Optimal

Bandwidth (h) dikenal juga sebagai parameter penghalus merupakan suatu konstanta bernilai positif yang mengontrol keseimbangan antara kemulusan kurva dan kesesuaian fungsi terhadap data. Jika nilai *bandwidth* yang terlalu kecil akan mengakibatkan estimasi kurva yang diperoleh sangat kasar dan variansi yang besar, sedangkan jika memilih nilai *bandwidth* yang semakin besar maka estimasi kurva yang diperoleh semakin mulus tetapi memberikan

konsekuensi nilai bias yang besar. Oleh karena itu diperlukan nilai *bandwidth* yang optimal (Liang & Cheng, 2005).

Gambar 2 menampilkan ilustrasi pengaruh nilai *bandwidth* yang berbeda dalam pengepasan estimasi kurva regresi. Ketika nilai *bandwidth* 0,01, kurva regresi yang diperoleh sangat kasar kemudian semakin mulus seiring dengan bertambahnya nilai *bandwidth*.



Sumber: Liang & Cheng (2005)

Gambar 2. Ilustrasi Pengaruh Nilai *Bandwidth* yang Berbeda

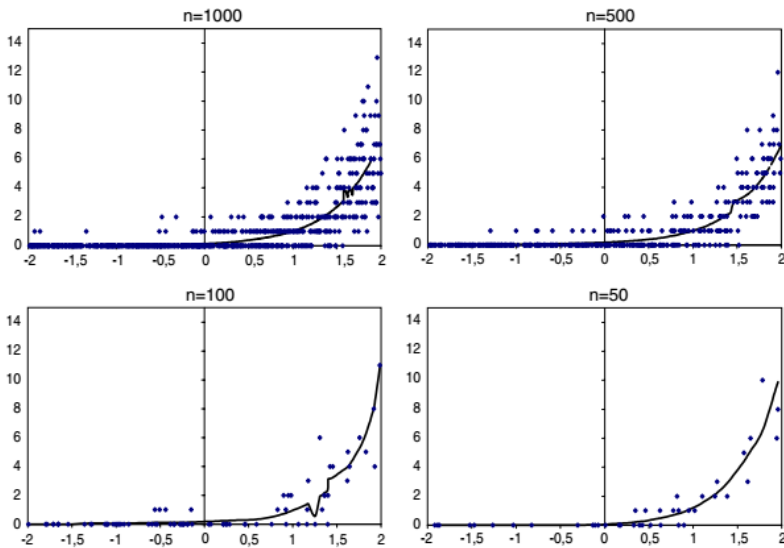
Menurut Chaudhuri dan Anup (1995), metode pemilihan *bandwidth* optimal yang paling umum digunakan pada model regresi nonparametrik adalah *Maximum Likelihood Cross Validation* (MLCV). Jika $\hat{\theta}_{-i}(x_i) = \exp(\hat{m}_{-i}(x_i))$ merupakan estimasi fungsi regresi

pada titik x_i tanpa menyertakan data ke- i , maka MLCV merupakan fungsi dari *bandwidth* h yang diberikan pada persamaan berikut:

$$MLCV(h) = \sum_{i=1}^n \{ \hat{m}_{-i}(x_{i/0}) y_i - \exp(\hat{m}_{-i}(x_{i/0})) - \ln y_i ! \} \quad (37)$$

Bandwidth optimal diperoleh dari nilai MLCV terbesar.

Gambar 3 menyajikan ilustrasi estimator lokal linier pada regresi Poisson dengan jumlah sampel yang bervariasi yaitu 50; 100; 500; dan 1.000 dengan *bandwidth* optimal 1,02; 1,11; 1,27; dan 0,71 dan fungsi kernel Epanechnikov.



Sumber: Santos & Neves (2008)

Gambar 3. Estimator Lokal Linier pada Regresi Poisson Unirespon

H. Hasil Pengembangan Teori

Pembangunan berkelanjutan yang diusung dalam kerangka *Sustainable Development Goals* (SDGs)

memerlukan dukungan data dan metode analitik yang tidak hanya akurat, tetapi juga adaptif terhadap konteks lokal. Dalam bidang biostatistika, kebutuhan akan model yang mampu menangkap kompleksitas spasial dan struktur data yang heterogen menjadi semakin penting, terutama dalam menganalisis fenomena sosial dan kesehatan masyarakat yang bersifat tidak linier dan bervariasi antar wilayah.

Model global yang bersifat rata-rata sering kali tidak mampu mencerminkan variasi lokal yang signifikan, sehingga berisiko menghasilkan estimasi yang bias dan tidak kontekstual. Oleh karena itu, pengembangan pendekatan yang bersifat lokal dan fleksibel menjadi sangat relevan.

Bagian ini membahas dasar teori dari Model Local Linear Multi-Predictor Poisson Regression berbasis estimasi maksimum likelihood lokal dengan pembobot kernel. Pendekatan ini merupakan representasi dari biostatistika adaptif, yakni metode yang merespons data secara dinamis dan kontekstual. Model ini dirancang khusus untuk data diskrit (*count data*) yang bersifat spasial, dengan keunggulan dalam mendeteksi pola lokal melalui fungsi kernel dan pemilihan bandwidth yang optimal.

Secara konseptual, pengembangan teori dalam bab ini diarahkan untuk memperkuat posisi model sebagai instrumen analitik yang tidak hanya relevan secara statistik, tetapi juga strategis dalam mendukung implementasi kebijakan berbasis data di berbagai sektor, khususnya kesehatan, lingkungan, ekonomi, dan sosial dalam kerangka pencapaian SDGs.

Misalkan kita mempunyai data berpasangan $(x_{0i}, y_i), i = 1, 2, \dots, n$ dan $x_{0i} = (x_{i1} \ x_{i2} \ x_{i3} \ x_{ip})$, y_i adalah variabel respon diskrit yang berdistribusi Poisson dan variabel prediktor x sebanyak p . Fungsi kepadatan peluang y_i dapat dituliskan sebagai berikut

$$P(Y_i = y_i | x_{\%}) = f(y_i | x_{\%}) = \frac{\theta(x_{\%})^{y_i} \exp(-\theta(x_{\%}))}{y_i!}, y_i = 0, 1, 2, K \quad (39)$$

dengan rata-rata

$$E(Y_i | x_{\%}) = \theta(x_{\%}) = \exp(m(x_{\%})) \quad (40)$$

Persamaan (40) disubstitusi ke persamaan (39) dan diperoleh

$$f(y_i | x_{\%}) = \frac{(m(x_{\%}))^{y_i} \exp(-m(x_{\%}))}{y_i!}, y_i = 0, 1, 2, K \quad (41)$$

dimana $m(x_{\%})$ adalah fungsi yang tidak diketahui dan diestimasi menggunakan local linear smoothing. Berdasarkan pendekatan Deres Taylor ordo 1 diperoleh pendekatan untuk $m(x_{\%})$ sebagai berikut

$$\sum_{j=1}^p m(x_{ij}) = \sum_{j=1}^p \{ \beta_{0j}(x_{0j}) + \beta_{1j}(x_{0j})(x_{ij} - x_{0j}) \}; x_{ij} \in (x_{0j} - h, x_{0j} + h) \quad (42)$$

$m(x_{i1}), m(x_{i2}), L, m(x_{ip})$ merupakan fungsi local linear. Persamaan (42) dapat ditulis dalam bentuk vektor berikut:

$$m(x_{\%}) = x_{\%} \beta \quad (43)$$

Jika persamaan (43) disubstitusi ke dalam persamaan (41) maka diperoleh

$$f(y_i | x_{i0}) = \frac{(x_{i0}\beta)^{y_i} \exp(-(x_{i0}\beta))}{y_i!}, y_i = 0, 1, 2, K \quad (44)$$

Parameter $\beta_{0/}$ pada persamaan (45)7) dapat diestimasi menggunakan metode Locally Kernel Weighted Maximum Likelihood Estimator.

Definisi 1. Misalkan $x_{i0} = (x_{i1} \ x_{i2} \ x_{i3} \ x_{ip})$, $i = 1, 2, L, n$ and $h > 0$ merupakan bandwidth yang mempunyai nilai yang sama, fungsi Kernel dapat dituliskan sebagai

$$f(x_i) = \prod_{i=1}^n K_{hj}(x_{ij} - x_{0j}) \quad (45)$$

Lemma 1. Misalkan kita mempunyai fungsi Kernel seperti pada persamaan (45) dan fungsi kepadatan peluang y_i pada persamaan (38) maka fungsi local log likelihood dapat dituliskan

$$L(\beta_{0/}, x_{0j}) = \prod_{j=1}^p \sum_{i=1}^n K_h(x_{ij} - x_{0j}) \quad (46)$$

$$\left\{ \left[\beta_{0j}(x_{0j}) + \beta_{1j}(x_{0j})(x_{ij} - x_{0j}) \right] y_i - \exp \left[\beta_{0j}(x_{0j}) + \beta_{1j}(x_{0j})(x_{ij} - x_{0j}) \right] - \ln(y_i!) \right\}$$

Lemma 1 dapat digunakan untuk menghasilkan estimasi parameter $\beta_{0/}$.

Teorema. Misalkan $(x_{i0}, y_i), i = 1, 2, L, n$ merupakan data berpasangan dan $x_{i0} = (x_{i1} \ x_{i2} \ x_{i3} \ x_{ip})$, y_i adalah variabel respon diskrit yang berdistribusi Poisson dengan model regresi Poisson pada persamaan (39) dan fungsi local log likelihood pada persamaan (46),

estimator untuk parameters β dapat diperoleh dari solusi persamaan berikut

$$\beta_{0j}(x_{0j}) = \frac{1}{p} \ln \left(\frac{\prod_{j=1}^p \sum_{i=1}^n y_i K_{hj}(x_{ij} - x_{0j})}{\prod_{j=1}^p \sum_{i=1}^n K_{hj}(x_{ij} - x_{0j}) \exp[\beta_{1j}(x_{0j})(x_{ij} - x_{0j})]} \right) \quad (47)$$

$$\prod_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{0j}) K_{hj}(x_{ij} - x_{0j}) \left\{ y_i - \frac{\exp[\beta_{1j}(x_{0j})(x_{ij} - x_{0j})] \prod_{j=1}^p \sum_{i=1}^n y_i K_{hj}(x_{ij} - x_{0j})}{p \prod_{j=1}^p \sum_{i=1}^n K_{hj}(x_{ij} - x_{0j}) \exp[\beta_{1j}(x_{0j})(x_{ij} - x_{0j})]} \right\} = 0 \quad (48)$$

Persamaan (48) merupakan fungsi implisit sehingga diperlukan metode iterative untuk menyelesaikannya. Pada umumnya, metode numerik yang digunakan adalah metode Newton Raphson. Metode Newton-Raphson memerlukan beberapa komponen, diantaranya adalah vector gradien, dimana elemennya merupakan turunan pertama fungsi local log likelihood dengan parameter β . Selanjutnya, diperlukan matriks Hessian yang merupakan turunan kedua fungsi local log likelihood.

Lemma 2. Misalkan model regresi multi-predictor Poisson seperti pada persamaan (2) dan fungsi local likelihood pada persamaan (49), maka

$$\frac{\partial^2 L(\beta, x_{0j})}{\partial^2 \beta_{0j}(x_{0j})} = - \prod_{j=1}^p \sum_{i=1}^n K_{hj}(x_{ij} - x_{0j}) \exp[\beta_{0j}(x_{0j})] \quad (49)$$

$$\exp[\beta_{0j}(x_{0j}) + \beta_{1j}(x_{0j})(x_{ij} - x_{0j})] = 0$$

$$\frac{\partial^2 L(\beta, x_{0j})}{\partial^2 \beta_{1j}(x_{0j})} = - \prod_{j=1}^p \sum_{i=1}^n K_{hj}(x_{ij} - x_{0j})(x_{ij} - x_{0j})^2 \quad (50)$$

$$\exp[\beta_{0j}(x_{0j})] \exp[\beta_{1j}(x_{0j})(x_{ij} - x_{0j})] = 0$$

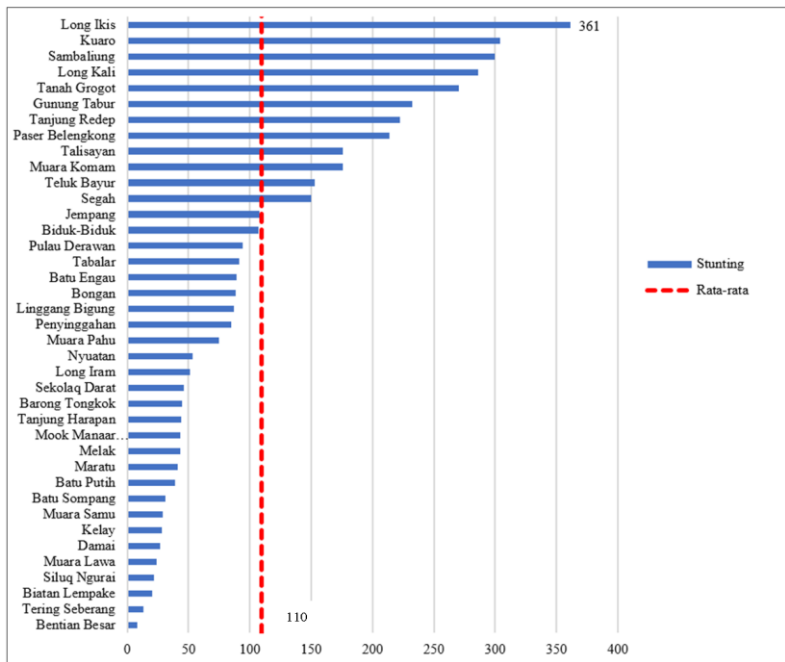
I. Analisis Kasus Stunting Kalimantan Timur

Data dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Kesehatan Kabupaten Kutai Barat, Paser, dan Berau, Provinsi Kalimantan Timur pada tahun 2023. Jumlah sampel penelitian sebanyak 39 kecamatan. Data terdiri atas hasil observasi dari variabel respon dan variabel prediktor. Variabel respon adalah jumlah kasus stunting (Y), sedangkan variabel prediktor meliputi persentase bayi yang mendapatkan ASI eksklusif (X_1) dan persentase anak yang menerima imunisasi dasar lengkap (X_2).

Tabel 1. Statistik Deskriptif Data Penelitian

Variabel	Rata-rata	Minimum	Maksimum	Deviasi Standar
Jumlah kasus Stunting	110	8	361	96.7
Persentase bayi yang mendapatkan ASI eksklusif	4.06	0	21.43	4.70
Persentase anak yang menerima imunisasi dasar lengkap	7.28	0.75	30.01	6.15

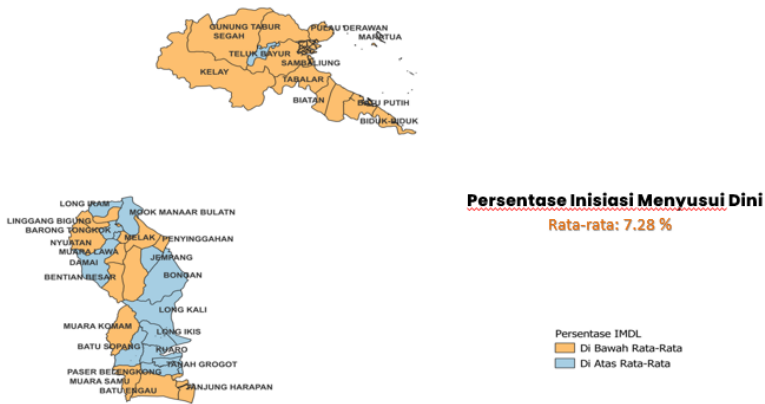
Teknik analisis data yang digunakan adalah pemetaan model regresi Poisson multiprediktor dengan pendekatan lokal linear, dan perhitungan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Open-Source Software* (OSS) R. Distribusi jumlah kasus stunting, persentase bayi yang mendapatkan ASI eksklusif, dan persentase anak yang menerima imunisasi dasar lengkap di Provinsi Kalimantan Timur tahun 2023 disajikan pada Gambar 1 sampai Gambar 3. Klasifikasi kasus stunting dibagi menjadi dua kategori, yaitu kecamatan dengan jumlah kasus di bawah rata-rata, dan kecamatan dengan jumlah kasus di atas rata-rata provinsi. Deskripsi data kasus stunting yang melibatkan dua variabel prediktor ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Kasus Stunting di Kab. Berau, Kutai Barat, dan Paser Tahun 2023

Gambar 1 menunjukkan bahwa jumlah anak stunting per kecamatan, terlihat bahwa rata-rata jumlah anak stunting di di Kab. Berau, Kutai Barat, dan Paser Tahun 2023 adalah sebanyak 110 anak. Namun demikian, terdapat kecamatan-kecamatan dengan angka stunting yang jauh melebihi rata-rata tersebut. Kecamatan dengan jumlah anak stunting tertinggi adalah Long Ikis dengan 361 anak, diikuti oleh Kuaro, Sambaliung, Long Kali, dan Tanah Grogot. Sementara itu, sebagian besar kecamatan lainnya berada di bawah rata-rata, dengan jumlah anak stunting yang relatif lebih rendah. Kecamatan dengan angka stunting terendah adalah Bentian Besar. Ketimpangan ini menunjukkan bahwa distribusi kasus stunting tidak merata antar kecamatan. Oleh karena itu, intervensi penanganan stunting perlu

diprioritaskan di kecamatan-kecamatan dengan angka kejadian yang tinggi. Selain itu, wilayah dengan angka stunting rendah dapat dijadikan contoh praktik baik yang bisa diterapkan di wilayah lain yang memiliki permasalahan serupa.



Gambar 2. Persentase Inisiasi Menyusui Dini di Kab. Berau, Kutai Barat, dan Paser Tahun 2023

Gambar 2 menunjukkan distribusi persentase Inisiasi Menyusui Dini (IMD) di berbagai kecamatan di Kab. Berau, Kutai Barat, dan Paser Tahun 2023 dengan rata-rata sebesar 7,28%. Warna oranye pada peta menandakan kecamatan yang memiliki persentase IMD di bawah rata-rata, sedangkan warna biru menunjukkan kecamatan dengan persentase di atas rata-rata. Secara umum, sebagian besar wilayah berada di bawah rata-rata, yang tercermin dari dominasi warna oranye di hampir seluruh peta, terutama di wilayah utara dan tenggara. Hanya sebagian kecil kecamatan yang berada di atas rata-rata, seperti beberapa wilayah di bagian barat dan tengah. Temuan ini mengindikasikan bahwa praktik IMD masih belum merata dan cenderung rendah di sebagian besar kecamatan. Rendahnya persentase IMD

menunjukkan perlunya peningkatan edukasi dan intervensi di tingkat layanan kesehatan, terutama dalam mendampingi ibu pasca persalinan agar memahami pentingnya IMD sebagai langkah awal yang krusial dalam pemenuhan gizi dan imunitas bayi. Kecamatan-kecamatan yang telah mencapai persentase di atas rata-rata dapat dijadikan rujukan atau model bagi wilayah lain dalam mengembangkan strategi promosi IMD yang lebih efektif.



Gambar 3. Persentase ASI Eksklusif di Kab. Berau, Kutai Barat, dan Paser Tahun 2023

Berdasarkan Gambar 3, diketahui bahwa distribusi persentase ASI eksklusif di berbagai kecamatan di Kab. Berau, Kutai Barat, dan Paser Tahun 2023 dengan rata-rata sebesar 4,06%. Warna oranye pada peta menggambarkan kecamatan yang memiliki persentase ASI eksklusif di bawah rata-rata, sedangkan warna hijau menunjukkan kecamatan yang di atas rata-rata. Dari visualisasi ini terlihat bahwa persebaran kecamatan dengan capaian di atas rata-rata relatif merata, meskipun jumlahnya tidak dominan. Beberapa kecamatan di wilayah utara seperti Kelay, Segah, dan Sambaliung, serta beberapa kecamatan di wilayah selatan seperti Long Ikis, Long

Kali, dan Muara Kaman tampak berhasil mencapai angka di atas rata-rata nasional. Sebaliknya, banyak kecamatan lain yang masih berada di bawah rata-rata, menunjukkan masih rendahnya cakupan pemberian ASI eksklusif di daerah tersebut. Kondisi ini menunjukkan perlunya penguatan edukasi dan pendampingan ibu menyusui, serta dukungan dari tenaga kesehatan dan kebijakan lokal yang mendukung praktik pemberian ASI eksklusif selama enam bulan pertama kehidupan bayi. Wilayah-wilayah yang berhasil mencapai hasil di atas rata-rata dapat dijadikan sebagai contoh keberhasilan untuk direplikasi di kecamatan lainnya.

Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan menggunakan regresi Poisson yang melibatkan dua variabel prediktor. Metode estimasi parameter yang digunakan adalah *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), dan nilai estimasinya diperoleh menggunakan algoritma iteratif Newton-Raphson. Model regresi Poisson ini, yang disebut juga model global, merepresentasikan model rata-rata dari kasus stunting di Kalimantan Timur tahun 2023 dan dapat dinyatakan dalam persamaan (51).

$$m(x_i) = \exp(4.625468 - 0.0000399x_{i1} - 0.084710x_{i2}); i = 1, 2, \dots, 39 \quad (51)$$

Untuk memperoleh model yang lebih baik, digunakan model regresi Poisson multiprediktor berbasis estimator lokal linear. Model regresi Poisson multiprediktor dengan dua variabel prediktor yang berbasis estimator lokal linear tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan (52).

$$m(x_{i\frac{j}{2}}) = \beta_{0i}(x_{0i}) + \beta_{1i}(x_{0i})(x_{1i} - x_{0i}) + \beta_{02}(x_{02}) + \beta_{12}(x_{02})(x_{12} - x_{02}) \quad i = 1, 2, \dots, 39 \quad (52)$$

Estimasi parameter dilakukan pada setiap titik observasi dengan menggunakan fungsi kernel berbobot, dan estimator Maximum Likelihood (ML) dihitung secara numerik menggunakan metode iteratif Newton-Raphson.

Proses estimasi parameter dimulai dengan menghitung fungsi kernel berbobot, menentukan bandwidth optimal, dan selanjutnya menerapkan algoritma iteratif Newton-Raphson. Hasil dari model regresi Poisson multiprediktor berbasis estimator lokal linear pada setiap titik observasi disebut sebagai model lokal, yang dalam konteks ini dinamakan Model Local Linear Multi-Predictor Poisson Regression, yang merepresentasikan rata-rata jumlah kasus stunting pada setiap kecamatan di Kalimantan Timur tahun 2023.

Dalam estimator lokal linear, kami menggunakan Maximum Likelihood Cross Validation (MLCV) untuk memilih *bandwidth* (h) yang optimal sebagai indikator model terbaik. Nilai bandwidth dan MLCV disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Bandwidth dan MLCV

X ₁		X ₂	
Bandwidth	MLCV	Bandwidth	MLCV
0.55	3.126820	0.34	0.360435
0.56	5.181427	0.35	2.202866
0.57	5.090332	0.36	2.064573

Berdasarkan bandwidth optimal yang telah ditentukan, dilakukan estimasi parameter untuk model regresi Poisson multiprediktor lokal linear. Hasil estimasi maximum likelihood untuk setiap titik observasi, yaitu kecamatan di wilayah Kabupaten Kutai Barat, Paser, dan Berau di Kalimantan Timur tahun 2023, ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Estimasi Model Local Linear Multi-Predictor Poisson Regression

Kabupaten	i	Kecamatan	Parameter		
			β_{0i}	β_{1i}	β_{2i}
West Kutai	1	Bongan	4.537467	-0.000047	-0.006071
	2	Linggang Bigung	4.525378	-0.000035	-0.007083
	3	Penyinggahan	4.538571	-0.000142	-0.006054
	4	Muara Pahu	4.528465	-0.000021	-0.006083
	5	Tering Seberang	3.547468	-0.000038	-0.006088
	6	Muara Lawa	3.436451	-0.000081	-0.005147
	7	Damai	3.636485	-0.000047	-0.005075
	8	Barong Tongkok	4.477469	-0.000349	-0.008562
	9	Long Iram	4.428541	-0.000042	-0.005035
	10	Melak	4.537467	-0.000021	-0.005179
	11	Siluq Ngurai	3.538653	-0.000045	-0.006071
	12	Nyuatan	4.527486	-0.000042	-0.005043
	13	Jempang	4.537452	-0.000039	-0.006071
	14	Sekolaq Darat	4.437348	-0.000047	-0.006045
	15	Mook Manaar Bulatn	3.537467	-0.000036	-0.006056
	16	Bentian Besar	3.537467	-0.000053	-0.006084
Paser	17	Batu Sompang	3.517467	-0.000039	-0.006034
	18	Muara Samu	3.417467	-0.000063	-0.006053
	19	Batu Engau	4.537467	-0.000057	-0.006053
	20	Tanjung Harapan	3.937467	-0.000049	-0.007072
	21	Paser Belengkong	4.998712	-0.000081	-0.006092
	22	Tanah Grogot	4.998887	-0.000052	-0.006077
	23	Kuaro	4.998871	-0.000034	-0.006072
	24	Long Ikis	4.988469	-0.000062	-0.006063
	25	Muara Komam	4.998467	-0.000081	-0.006081
	26	Long Kali	4.938466	-0.000057	-0.005173
Berau	27	Tanjung Redep	4.987887	-0.000074	-0.005091
	28	Teluk Bayur	4.998467	-0.000039	-0.006077
	29	Sambaliung	4.792747	-0.000073	-0.006071
	30	Günung Tabur	4.998879	-0.000048	-0.006073
	31	Pulau Derawan	4.537467	-0.000055	-0.006081
	32	Maratu	3.537467	-0.000047	-0.006046
	33	Talisayan	4.923746	-0.000231	-0.006084
	34	Biatan Lempake	4.335034	-0.000046	-0.006086
	35	Tabalar	4.537467	-0.000041	-0.006072
	36	Batu Putih	3.637467	-0.000038	-0.006071
	37	Biduk-Biduk	4.537467	-0.000024	-0.006062
	38	Kelay	3.537467	-0.000028	-0.005076
	39	Segah	4.941467	-0.000032	-0.008072

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh model rata-rata kasus stunting untuk setiap kecamatan di Kalimantan Timur. Sebagai contoh, model rata-rata kasus stunting di Kecamatan Bongan (pengamatan ke-1), Kecamatan Long Kali (pengamatan ke-26), dan Kecamatan Segah (pengamatan ke-39) masing-masing disajikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m(x_{0\frac{1}{2}}) = & \exp(4.537467 - 0.000047(x_{11} - 5.47945) \\ & - 0.006071(x_{12} - 12.8564)); \end{aligned} \quad (53)$$
$$0.298025 < x_{11} < 10.660879; 10.653586 < x_{12} < 15.059318$$

$$m(x_{26}) = \exp(4.938466 - 0.000057(x_{26.1} - 5.628198) - 0.005173(x_{26.2} - 7.950311)); \quad (54)$$

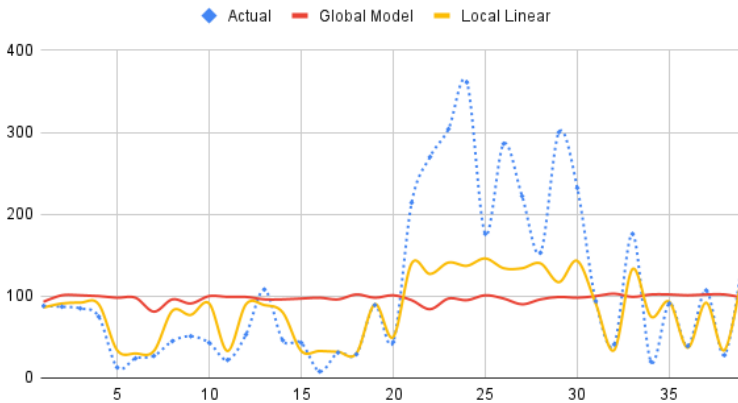
$$0.446771 < x_{26.1} < 10.809625; 5.747445 < x_{26.2} < 10.153177$$

dan

$$m(x_{39}) = \exp(4.941467 - 0.000032(x_{27.1} - 1.838565) - 0.008072(x_{27.2} - 6.680541)); \quad (55)$$

$$0 < x_{39.1} < 7.019992; 4.477675 < x_{39.2} < 8.883407$$

Berdasarkan persamaan (53), jika persentase bayi yang menerima ASI eksklusif (X_1) adalah 6,47945% dan persentase anak yang menerima imunisasi dasar lengkap (X_2) adalah 13,8564%, maka rata-rata jumlah kasus stunting di Kecamatan Bongan adalah sebanyak 93 anak. Kinerja model regresi Poisson multiprediktor berbasis estimator lokal linear dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Model Regresi Poisson Global dan Model Local Linear Multi-Predictor Poisson Regression

Gambar 4 menunjukkan bahwa data aktual sangat berfluktuasi, yang ditampilkan oleh garis berwarna biru. Nilai-nilai pengukuran menunjukkan variasi yang signifikan antar observasi, dengan adanya puncak (peaks) dan lembah (troughs). Model global (digambarkan dengan garis merah) secara umum mampu menangkap tren keseluruhan, namun kesulitan mencerminkan fluktuasi data secara akurat. Prediksi dari model global cenderung relatif konstan. Sebaliknya, model lokal linear (digambarkan dengan garis kuning) menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam menangkap fluktuasi data, dan mampu mengikuti pola tren lokal secara efektif. Nilai MLCV untuk model global adalah 9489,160018, sedangkan untuk model lokal linear hanya 1811,482859, yang menunjukkan bahwa model lokal memiliki akurasi prediksi yang jauh lebih baik.

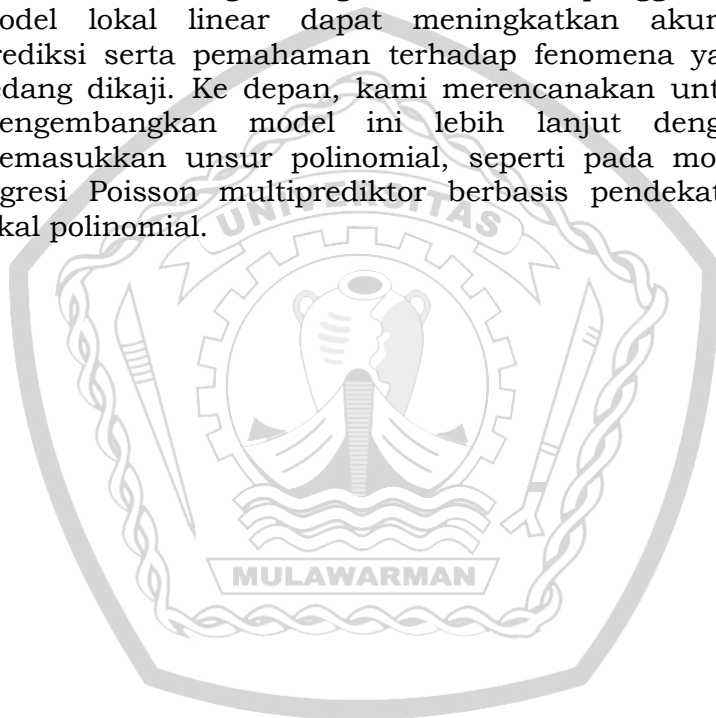
J. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, kami mengembangkan model regresi Poisson multiprediktor dengan menggunakan pendekatan lokal linear. Metode ini menawarkan sejumlah keunggulan, seperti kemampuan untuk melakukan estimasi fungsi pada setiap titik pengamatan, sehingga hasil estimasinya lebih sesuai atau mendekati pola data yang diamati. Metode ini juga mematuhi prinsip kesederhanaan (parsimonious), sehingga lebih mudah diinterpretasikan dan tidak terlalu bergantung pada ukuran data yang besar. Kami telah menjelaskan secara rinci prosedur untuk memperoleh kurva regresi pada titik tertentu, di mana digunakan estimasi maksimum likelihood berbobot kernel lokal, dan estimasi parameter dihitung menggunakan metode iterasi Newton-Raphson.

Model regresi yang kami usulkan ini diterapkan pada data kesehatan, di mana variabel respon adalah jumlah kasus stunting (Y), dan variabel prediktor

meliputi persentase bayi yang menerima ASI eksklusif (X_1) serta persentase anak yang menerima imunisasi dasar lengkap (X_2).

Hasil evaluasi model menunjukkan bahwa model lokal linear memiliki keunggulan dalam menangani data dengan tingkat variabilitas yang tinggi. Kemampuan model ini dalam menangkap fluktuasi lokal memiliki implikasi penting dalam pemodelan masalah stunting. Dengan demikian, penggunaan model lokal linear dapat meningkatkan akurasi prediksi serta pemahaman terhadap fenomena yang sedang dikaji. Ke depan, kami merencanakan untuk mengembangkan model ini lebih lanjut dengan memasukkan unsur polinomial, seperti pada model regresi Poisson multiprediktor berbasis pendekatan lokal polinomial.



DAFTAR PUSTAKA

- N. R. Drapper and H. Smith, *Applied Regression Analysis*, 3rd ed. Canada: John Wiley and Sons Inc., 1998.
- W. Hardle, "Applied Nonparametric Regression.," in Humboldt-Universitat zu Berlin, Institut fur Statistik und Okonometrie, Berlin: Humboldt-Universitat zu Belrin, 1994. doi: 10.2307/2348990.
- S. Brown and A. Heathcote, "On the use of nonparametric regression in assessing parametric regression models," *J Math Psychol*, vol. 46, no. 6, pp. 716–730, 2002, doi: 10.1006/jmps.2002.1421.
- Darnah, M. I. Utoyo, and N. Chamidah, "Modeling of Maternal Mortality and Infant Mortality Cases in East Kalimantan using Poisson Regression Approach Based on Local Linear Estimator," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Apr. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/243/1/012023.
- M. Amin, M. N. Akram, and M. Amanullah, "On the James-Stein estimator for the poisson regression model," *Commun Stat Simul Comput*, vol. 51, no. 10, pp. 5596–5608, 2022, doi: 10.1080/03610918.2020.1775851.
- I. E. Okorie, E. Afuecheta, S. Nadarajah, A. Bright, and A. C. Akpanta, "A Poisson regression approach for assessing morbidity risk and determinants among under five children in Nigeria," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-72373-4.
- P. Schober and T. R. Vetter, "Count Data in Medical Research: Poisson Regression and Negative Binomial Regression," *Anesth Analg*, vol. 132, no. 5, pp. 1378–1379, May 2021, doi: 10.1213/ANE.0000000000005398.
- W. Iqbal, Y. M. Tang, K. Y. Chau, M. Irfan, and M. Mohsin, "Nexus between air pollution and NCOV-2019 in China: Application of negative binomial regression analysis," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 150, pp. 557–565, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.psep.2021.04.039.
- M. Amin, M. N. Akram, and B. M. G. Kibria, "A new adjusted Liu estimator for the Poisson regression model,"

- Concurr Comput, vol. 33, no. 20, Oct. 2021, doi: 10.1002/cpe.6340.
- X. Bektashi, S. Rexhepi, and N. Limani-Bektashi, "Dispersion of Count Data: A Case Study of Poisson Distribution and Its Limitations," *Asian Journal of Probability and Statistics*, pp. 18–28, Aug. 2022, doi: 10.9734/ajpas/2022/v19i230464.
 - S. M. Berliana, Purhadi, Sutikno, and S. P. Rahayu, "Parameter estimation and hypothesis testing of geographically weighted multivariate generalized poisson regression," *Mathematics*, vol. 8, no. 9, Sep. 2020, doi: 10.3390/math8091523.
 - D. Darnah, M. Imam Utoyo, and N. Chamidah, "Estimation of the Bi-response Poisson Regression Model Based on Local Linear Approach," *International Journal of Academic and Applied Research*, vol. 3, no. 5, pp. 14–18, 2019, [Online]. Available: <http://www.ijeais.org/ijaar>
 - S. Brown and A. Heathcote, "On the use of nonparametric regression in assessing parametric regression models," *J Math Psychol*, vol. 46, no. 6, pp. 716–730, 2002, doi: 10.1006/jmps.2002.1421.
 - R. L. Eubank, "Nonparametric Regression and Spline Smoothing," 1999, Marcel Dekker, New York.
 - G. Wahba, "Improper Priors, Spline Smoothing and the Problem of Guarding Against Model Errors in Regression," *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, vol. 40, no. 3, pp. 364–372, 1978, doi: 10.1111/j.2517-6161.1978.tb01050.x.
 - A. T. R. Dani, V. Ratnasari, and I. N. Budiantara, "Optimal Knots Point and Bandwidth Selection in Modeling Mixed Estimator Nonparametric Regression," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1115, no. 1, p. 012020, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1115/1/012020.
 - E. Ana, N. Chamidah, P. Andriani, and B. Lestari, "Modeling of hypertension risk factors using local linear of additive nonparametric logistic regression," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Dec. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1397/1/012067.
 - L. R. Cheruiyot, "Local linear regression estimator on the boundary correction in nonparametric regression estimation," *Journal of Statistical Theory and*

- Applications, vol. 19, no. 3, pp. 460–471, Sep. 2020, doi: 10.2991/jsta.d.201016.001.
- Nidhomuddin, N. Chamidah, and A. Kurniawan, “Confidence Interval Of The Parameter On Multipredictor Biresponse Longitudinal Data Analysis Using Local Linear Estimator For Modeling Of Case Increase And Case Fatality Rates Covid-19 In Indonesia: A Theoretical Discussion,” *Commun. Math. Biol. Neurosci.*, vol. 2022, no. 23, pp. 1–12, 2022.
- N. Chamidah, Y. S. Yonani, E. Ana, and B. Lestari, “Identification the number of Mycobacterium tuberculosis based on sputum image using local linear estimator,” *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 5, pp. 2109–2116, Oct. 2020, doi: 10.11591/eei.v9i5.2021.
- C. Adam and I. Gijbels, *Local polynomial expectile regression*, vol. 74, no. 2. Springer Japan, 2022. doi: 10.1007/s10463-021-00799-y.
- S. E. Ahmed, D. Aydin, and E. Yilmaz, “Semiparametric Time-Series Model Using Local Polynomial: An Application on the Effects of Financial Risk Factors on Crop Yield,” *Journal of Risk and Financial Management*, vol. 15, no. 3, 2022, doi: 10.3390/jrfm15030141.
- M. Ulya, N. Chamidah, and T. Saifudin, “Predicting the sweetness level of avomango (Gadung Klonal 21) using multi-predictor local polynomial regression,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, May 2021. doi: 10.1088/1755-1315/733/1/012009.
- M. D. Cattaneo, M. Jansson, and X. Ma, “Simple Local Polynomial Density Estimators,” *J Am Stat Assoc*, vol. 115, no. 531, pp. 1449–1455, Jul. 2020, doi: 10.1080/01621459.2019.1635480.
- W. Cui and M. Wei, “Strong Consistency of Kernel Regression Estimate,” *Open J Stat*, vol. 03, no. 03, pp. 179–182, 2013, doi: 10.4236/ojs.2013.33020.
- W. H. Wong, “On the Consistency of Cross-Validation in Kernel Nonparametric Regression,” *The Annals of Statistics*, vol. 11, no. 4, pp. 1136–1141, 1983.
- Y. Xie, “Fault monitoring based on locally weighted probabilistic kernel partial least square for nonlinear time-varying processes,” *J Chemom*, vol. 33, no. 12, Dec. 2019, doi: 10.1002/cem.3196.

- G. Wahba and Y. Wang, "Spline Function," *Encyclopedia of Statistical Sciences*, pp. 1–27, 2014, doi: 10.4135/9781446247501.n3679.
- M. A. Sahraei, H. Duman, M. Y. Çodur, and E. Eydurán, "Prediction of transportation energy demand: Multivariate Adaptive Regression Splines," *Energy*, vol. 224, p. 120090, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120090.
- X. Lin and D. Zhang, "Inference in generalized additive mixed models by using smoothing splines," *J R Stat Soc Series B Stat Methodol*, vol. 61, no. 2, pp. 381–400, 1999, doi: 10.1111/1467-9868.00183.
- M. Roozbeh, M. Maanavi, and A. Mohamed, "Penalized least squares optimization problem for high-dimensional data," *Int. J. Nonlinear Anal. Appl*, vol. 14, pp. 2008–6822, 2023, doi: 10.22075/ijnaa.2022.26998.3470.
- Kosmaryati and M. D. Kartikasari, "Analysis of Penalized Semiparametric Regression Model on Bi-Response Longitudinal Data," *Advances in Sosial Science, Education, and Humanities Research*, vol. 474, pp. 172–178, 2020, doi: 10.2991/assehr.k.201010.025.
- L. N. Berry and N. E. Helwig, "Cross-Validation, Information Theory, or Maximum Likelihood? A Comparison of Tuning Methods for Penalized Splines," *Stats (Basel)*, vol. 4, no. 3, pp. 701–724, Sep. 2021, doi: 10.3390/stats4030042.
- I. Wayan Sudiarsa, I. Nyoman Budiantara, S. Suhartono, and S. W. Purnami, "Combined estimator fourier series and spline truncated in multivariable nonparametric regression," *Applied Mathematical Sciences*, vol. 9, no. 97–100, pp. 4997–5010, 2015, doi: 10.12988/ams.2015.55394.
- Darnah, I. Utoyo, and N. Chamidah, "Bi-response Poisson regression model for modeling effect of early marriage on maternal and infant mortality," *AIP Conf Proc*, vol. 2554, no. 1, p. 030005, Jan. 2023, doi: 10.1063/5.0104404.
- A. Baíllo and A. Grané, "Local linear regression for functional predictor and scalar response," *J Multivar Anal*, vol. 100, no. 1, pp. 102–111, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.jmva.2008.03.008.
- Astuti, Erni Tri, I. Nyoman Budiantara, Sony Sunaryo, and M. Dokhi. "Statistical modeling for mortality data using

- local generalized poisson regression model." *International Journal of Applied Mathematics and Statistics* 33, no. 3 (2013): 92-101.
- Jones, M. C., and Daniel A. Henderson. "Maximum likelihood kernel density estimation: On the potential of convolution sieves." *Computational Statistics & Data Analysis* 53.10 (2009): 3726-3733..
<https://doi.org/10.1016/j.csda.2009.03.019>
- Cheruiyot, Langat Reuben. "Local linear regression estimator on the boundary correction in nonparametric regression estimation." *Journal of Statistical Theory and Applications* 19, no. 3 (2020): 460-471.
<https://link.springer.com/article/10.2991/jsta.d.201016.001>
- Chaudhuri, Probal, and Anup Dewanji. "On a likelihood-based approach in nonparametric smoothing and cross-validation." *Statistics & Probability Letters* 22.1 (1995): 7-15
- Suyitno, Darnah, A. T. R. Dani, and N. T. Oktavia, "Modeling the hospitalization time of stroke patients at Abdul Wahab Sjahranie Hospital Samarinda using the Weibull Regression Model," *MethodsX*, vol. 2025, no. 14, pp. 1-14, Dec. 2024, doi: 10.17654/MS101091977.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini perkenankan saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya Kepada Pemerintah Republik Indonesia dalam hal ini Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas pemberian penghargaan sebagai Guru Besar di Bidang Biostatistika.

Ucapan terima kasih, saya sampaikan kepada Rektor Universitas Mulawarman, Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU., ASEAN Eng, Prof. Dr. Lambang Subagiyo, M.Si. selaku Wakil Rektor Bidang Akademik, Ir. Sukartiningsih, M.Sc., Ph.D., IPU selaku Wakil Rektor Bidang Sumber Daya Manusia, Umum, dan Keuangan, Prof. Dr. H. Moh. Bahzar, M.Si. selaku Wakil Rektor Bidang Kemahasiswaan dan Alumni, dan Dr. Ir. Nataniel Dengen, S.Si., M.Si. selaku Wakil Rektor Bidang Perencanaan, Kerja Sama, dan Informasi.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Ketua Senat Universitas Mulawarman, Prof. Dr. H. Muh. Amir Masruhim, M.Kes., Sekretaris Senat, Prof. Ir. Haviluddin, S.Kom., M.Kom., Ph.D., IPM beserta Bapak/Ibu anggota senat Universitas Mulawarman. Terima kasih kepada Ketua dan Sekretaris LP2M, Prof. Prof. Widi Sunaryo, S.P., M.Si., Ph.D. dan Dr. Ike Anggraeni G., S.KM., M.Kes atas bantuan dan dukungannya sehingga terlaksananya pengukuhan ini dengan lancar.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Dekan Fakultas MIPA, Ibu Dr. Dra. Hj. Ratna Kusuma, M.Si., Dr. Dadan Hamdani, S.Si., M.Si. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik, dan Prof. Dr. Soerdja Koesnarpadi, S.Si., M.Si. selaku Wakil Dekan Bidang Keuangan dan Umum. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Ketua Senat, Ibu Dr. Eva Marlina, M.Si., Sekretaris Senat, Drs. Sus Tri Mukti, MP., beserta Bapak/Ibu Anggota Senat FMIPA Universitas

Mulawarman. Ketua Pusat Penjaminan Mutu (P2M) Fakultas MIPA, Dr. Adrianus Inu Natalisanto, S.Si., M.Si., Ketua dan Sekretaris Jurusan, Koordinator Program Studi, Dosen, dan Tenaga Kependidikan FMIPA Universitas Mulawarman. Terima kasih terkhusus kepada Bapak/Ibu Dosen Program Studi Statistika dan Program Studi Matematika, Laboran, serta Tenaga Kependidikan Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Mulawarman, atas dukungan dan doanya sehingga saya sampai pada capaian ini.

Teristimewa, terima kasih saya sampaikan kepada kedua orang tua saya, Bapak Andi Nohe dan Almarhum Ibu Andi Donno, serta saudara-saudara saya: Andi Muttiara, Andi Nahdar, Andi Dahring, Andi Darniah, Andi Darman. Kepada suami tercinta Imam Rofii, dan anak-anak saya Andi Syaifullah Al Maslulil Agri, Andi Ahmad Dzaky Palewai Agri, Andi Muhammad Akhtar Al Fadi Agri, dan Andi Farzan Rayhan Shakeil Agri, serta seluruh keluarga besar atas segala dukungan moril dan materil serta cinta kasihnya yang tidak terputus hingga pencapaian jabatan ini.

Terima kasih kepada Prof. Dr. H. Adam Idris, M.Si dan Dra. Hj. Hasriati, M.Si, Dr. H. Andi Lutfi, ST, M.Si. beserta Dr. Hj. Suryaningsih, S.Pd., M.Hum, Faisyal, ST., MT beserta Sumarni, ST, Dr. Iriyani, S.KM., M.Gizi dan suami, Dr. H. Haeruddin, M.Si dan Hj. Herni Johan, SE, SKM, M.Si, M.Kes, PhD, Marwati, SP., MP dan Hamka, S.TP., M.Sc., MP, Dr. Rahmawati Munir, S.Si., M.Si dan Muhammad Rosyidi, ST, Rahmiati, S.Si., M.Sc, dan Andi Mismawati, S.Pd., M.Sc atas segala doa dan dukungannya sampai pencapaian ini.

Penghargaan dan terima kasih untuk Bapak/Ibu Guru dan teman-teman SD Negeri 29 Desa Pasaka, SMP Negeri 2 Mare, dan SMA Negeri 1 Tellu SiattingE. Bapak/Ibu Dosen beserta teman-teman S1 Matematika Angkatan 1998, S2 Statistika Angkatan 2007 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,

S3 MIPA Angkatan 2015, Dr. Yeni Kustiyaningsih, M.Kom., Dr. Anna Islamiyati, M.Si., Dr. Siti Aisyah, M.Si., dan Dr. Dian Puspitasari, M. Kom serta teman-teman lain atas dukungan dan motivasinya sehingga sampai pada tahapan ini.



CURRICULUM VITAE

Nama : Darnah
NIP : 197703092005012002
NIDN : 0009037701
Tempat, Tanggal
Lahir : Appakkireng, 9 Maret 1977
Agama : Islam
Email : darnahstat@fmipa.unmul.ac.id
No HP : 085250014187
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam
Pangkat, Gol. : Pembina Tingkat I/ IVb
Jabfung, TMT : Guru Besar
TMT Golongan :
ID SINTA : 6729549
ID SCOPUS : 57190933833

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) : S1 Matematika Universitas Hasanuddin
2. Magister (S2) : S2 Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember
3. Doktor (S3) : S3 MIPA Peminatan Statistika Universitas Airlangga

RIWAYAT PENELITIAN

1. Pengembangan Regresi Nonparametrik Poisson Multiprediktor Local Linear sebagai Model Efektif Penanganan Stunting dan Pola Asuh Anak Berbasis Kearifan Lokal Masyarakat (2024, Ketua).
2. Pembuatan Material Komposit Berbasis Limbah Cangkang Telur (CT) dan Titanium Dioksida (TiO₂) sebagai Adsorben untuk Pemurnian Air (2024, Anggota).

3. Penerapan Geographically Weighted Poisson Regression untuk Pemetaan Kasus Kusta Anak di Indonesia sebagai Upaya Penguatan Pengetahuan dan Kebiasaan Masyarakat Berperilaku Sehat (2024, Ketua).
4. Survei Kajian Produktivitas Ternak di Provinsi Kalimantan Timur (2024, Ketua).
5. Pendataan Rumah Terpadu Kota Bontang Tahun 2024 (2024, Ketua).
6. Penyusunan Dokumen Rencana Aksi Daerah Gas Rumah Kaca Kabupaten Bulungan (2024, Anggota).
7. Survei Penggunaan Media TIK Kota Bontang (2023, Anggota).
8. Penerapan Model Hybrid Fungsi Transfer, Neural Network, dan Deret Fourier untuk Peramalan Harga Batu Bara Acuan (2023, Anggota).
9. Analisis Potensi Pencemaran Air Sungai Mahakam di Lingkungan Hutan Tropis Lembap Kalimantan Timur Menggunakan Model Regresi Weibull. (2023, Anggota).
10. Survei Kemampuan Literasi Digital Tenaga Pengajar Tingkat SMA/SMK Kota Samarinda, Balikpapan, dan Kutai Kartanegara (2023, Ketua).
11. Survei Kepuasan Masyarakat Terhadap Layanan Diskominfo Kota Samarinda, Balikpapan, dan Kutai Kartanegara (2023, Anggota).
12. Profil Pembangunan Kota Bontang (2022, Ketua).
13. Analisis Pengaruh Media Pembelajaran Daring dan Literasi Digital Terhadap Nilai Matematika Siswa SMP di Samarinda pada Masa Pandemi COVID-19 dengan Dummy Variable Regression (2021, Ketua).
14. Pemodelan Sikap Masyarakat Kota Bontang Terhadap Vaksinasi COVID-19 Menggunakan Binary Logistic Regression (2021, Ketua).
15. Kajian Dampak Sosial-Ekonomi Pandemi COVID-19 dan Pengaruhnya Terhadap Refocusing APBD Kota Bontang 2021 (2021, Anggota).

16. Pemodelan regresi Poisson menggunakan pendekatan estimator lokal linier pada jumlah kematian ibu dan bayi di Kalimantan Timur (2018, Ketua).

RIWAYAT PUBLIKASI

1. Locally kernel weighted maximum likelihood estimator for local linear multi-predictor poisson regression. *MethodsX*. 2025 Jun 1; 14:103258.
2. Modeling the hospitalization time of stroke patients at Abdul Wahab Sjahranie Hospital Samarinda using the Weibull Regression Model. *MethodsX*. Dec. 2024 Dec;2025(14):1-4.
3. The solid-state dispersion method for synthesizing eggshells ES/TiO₂ composite to enhance photocatalytic degradation methylene blue. *MethodsX*. 2025 Jun 1; 14:103150.
4. Mengatasi Multikolinieritas Dalam Regresi Linier Berganda Menggunakan Principal Component Analysis. *EKSPONENSIAL*. 2025 Apr 17;16(1):1-9.)
5. Digitalisasi Desa Dondang: Transformasi Layanan Publik Melalui Optimasi Website sebagai Katalis Perubahan. *Journal of Research Applications in Community Service*. 2024 Dec 28;3(4):83-90.
6. Sosialisasi Budidaya Ikan dalam Ember dengan Menggunakan Metode Akuaponik Sederhana di Kelurahan Muara Jawa Pesisir. *Madaniya*. 2024 Nov 25;5(4):1803-8.
7. Pengelompokan Kabupaten/Kota Di Pulau Kalimantan Berdasarkan Indikator Perumahan Dan Kesehatan Lingkungan Menggunakan Metode Fuzzy Gustafson-Kessel. *Jurnal Gaussian*. 2024 Oct 9;13(1):156-67.
8. Classification of the human development index in Kalimantan using random forest method. *InProceeding International Seminar of Science and Technology* 2024 Feb 29 (Vol. 3, pp. 231-239).

9. Pelatihan Visualisasi Data Menggunakan Ggplot2 Bagi Dosen Dan Mahasiswa se-Kota Samarinda. Jurnal Mulia. 2024 Feb 16;3(1):134-41.
10. Regresi Nonparametrik Spline Truncated untuk Memodelkan Tingkat Pengangguran Terbuka di Pulau Kalimantan. Jurnal Statistika dan Aplikasinya. 2023 Dec 31;7(2):224-31.
11. Literasi Dasar Melalui Numerasi dan Keuangan. Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM). 2023 Dec 1;6(12):5639-46.
12. Penerapan Algoritma K-Medoids pada Pengelompokan Wilayah Provinsi di Indonesia Berdasarkan Indikator Pendidikan. EKSPONENSIAL. 2023 Nov 30;14(2):85-90.
13. Model Regresi Nonparametrik Spline Truncated Pada Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia. EKSPONENSIAL. 2023 Nov 29;14(2):91-8.
14. Pemilihan Model Terbaik pada Generalized Poisson Regression Menggunakan Akaike Information Criterion. Statistika. 2023 Jun 30;23(1):73-87.
15. Pendekatan Regresi Nonparametrik Kernel pada Data IHSG Periode Januari 2020-Desember 2021. Statistika. 2023. (Vol. 23, Issue 1).
16. Pengelompokan Puskesmas Berdasarkan Kasus Balita Stunting di Kabupaten Paser Menggunakan Metode K-Medoids. EKSPONENSIAL. 2023 May 22;14(1):1-0.
17. Analisis Faktor-Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Status Pembayaran Kredit Barang Elektronik Dan Furniture Menggunakan Regresi Logistik. Variansi: Journal of Statistics and Its application on Teaching and Research. 2023 May 13;5(01):28-35.
18. Bayes' approach of linear regression to modeling the human development index in Indonesia. Majalah Ilmiah Matematika dan Statistika. 2023 Apr 11;23(1):56-68.
19. Regresi Nonparametrik Multivariabel dengan Pendekatan Spline Truncated Pada Kasus Tuberculosis. Statistika. 2022 Nov 17;22(1):87-93.

20. Pemberdayaan Ibu-Ibu Pkk Melalui Pelatihan Pembuatan Sabun Cuci Piring Cair Untuk Meningkatkan Keterampilan Hidup. *Journal of Social Outreach*. 2022 Oct 18;1(2):68-74.
21. Attitudes towards COVID-19 vaccines to support the achievement of government targets: A case study of Bontang city. In *AIP Conference Proceedings 2022 Oct 11 (Vol. 2668, No. 1, p. 070011)*. AIP Publishing LLC.
22. Analysis of service provider marketing strategy in achieving customer loyalty using game theory for senior high school students in Samarinda city. In *AIP Conference Proceedings 2022 Oct 11 (Vol. 2668, No. 1, p. 050002)*. AIP Publishing LLC.
23. Nonparametric Regression Modeling Based on Spline Truncated Estimator on Simulation Data. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*. 2022 Sep 7;19(1):172-82.
24. Identifying Factors Affecting Mathematics Score in the Junior High School Students During COVID-19 Pandemic in Samarinda, Indonesia. *JSJU*. 2022 Feb;57(1).

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. Survei PIHPS Pedagang Ecer untuk Kab. Mahulu, Kutai Barat, Kutai Timur, dan Berau. (2021-sekarang).
2. Survei PIHPS Pedagang Ecer dan Pedagang Besar untuk Kota Samarinda dan Bontang, serta Kab. Kutai Kartanegara (2021-sekarang).
3. Pelatihan Visualisasi Data Menggunakan Ggplot2 Untuk Meningkatkan Kemampuan Penyajian Data Penelitian. (2021).
4. Dosen Pembimbing Lapangan Mahasiswa KKN (2021-2025).

RIWAYAT JABATAN

1. Dosen Program Studi Statistika Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2005-sekarang)
2. Kepala Laboratorium Statistika Terapan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2013-2015).
3. Kepala Laboratorium Statistika Terapan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2023-2025).
4. Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan, Alumni, dan Kerja Sama Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2025-sekarang)

RIWAYAT ORGANISASI

1. Anggota Forum Pendidikan Statistika Indonesia (FORSTAT), (2012-sekarang).
2. Pengurus Perkumpulan Ahli dan Dosen (ADRI) Kalimantan Timur, (2022-sekarang).
3. Pengurus Pimpinan Wilayah 'Aisyiyah (PWA) Kalimantan Timur (2021-sekarang)